

ŘADA B
PRO KONSTRUKTÉRYČASOPIS
PRO ELEKTRONIKU
A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ

ROČNÍK XXXI/1982 ČÍSLO 1

V TOMTO SEŠITĚ

Poslání a úloha AR ve společnosti 1

YAGIHO SMĚROVÉ ANTÉNY
PRO VKV A UKV

Úvod	2
Směrové vlastnosti antén	3
Reflektor, zářič, direktory	4
Délka antény	6
Impedanční vlastnosti Yagiho antén	6
Konstrukční a mechanická hlediska stavby antén	8
Praktická realizace Yagiho antén	10
Rozměry prvků a jejich korekce	12
Anténní soustavy	14
Způsob napájení	16
Vzájemná vzdálenost antén v soustavě	18
Výpočet směrového diagramu	18
Stanovení rozměrů soustav	22
Praktické využívání soustav	23
O homogenitě prostředí trochu jinak	24
Yagiho antény se skupinovými direktory	25
Úprava antény KC91-BL (X-COLOR)	25
Anténní soustava pro K28	27
Anténní soustavy z X-COLOR a TVa („matrace“)	28
Quagi-antény	28
Praktická realizace smyčkových antén	30
Seznam a mapa TV vysílačů	30
Literatura	31
Antény v podmínkách praktického příjmu	34
Zvláštnosti rozložení elmag. pole v místě příjmu	34
Praktické aplikace	35
Úkazy praktických konstrukcí antén	36
Výsledky 13. a podmínky 14. ročníku konkursu AR	39

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelském NAŠE VOJSKO, Vladislavova 26, 133 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7. Šéfredaktor ing. Jan Klíbal, redaktor Luboš Kalousek, OK1FAC. Redakční rada: RNDr. V. Brunnhofer, K. Donát, V. Gazda, A. Glanc, I. Harminc, M. Háša, Z. Hradský, P. Horák, J. Hudec, ing. J. T. Hyan, ing. J. Jaroš, doc. ing. dr. M. Joachim, ing. F. Králík, RNDr. L. Kryška, J. Kroupa, ing. E. Měčík, V. Němec, RNDr. L. Ondříš, CSc., J. Ponický, ing. E. Smutný, V. Teska, doc. ing. J. Vacáček, laureát st. ceny KG, J. Vorlíček, ing. J. Zima.

Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7, šéfredaktor linka 354, redaktor linka 353, sekretářka linka 355. Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, pololetní předplatné 15 Kčs. Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil vydavatelství NAŠE VOJSKO; administrace Vladislavova 26, Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS, ústřední expedice a dovoz tisku, závod 01, Kačkova 9, 160 00 Praha 6. Tiskne NAŠE VOJSKO, n. p., závod 08, 162 00 Praha 6, Vlastina 710.

Za původnost a správnost příspěvku odpovídá autor. Návrhy v redakci a telefonické dotazy pouze po 14. hodině. Číslo indexu 46 044.

Toto číslo má vyjít podle plánu 20. ledna 1982.

© Vydavatelství NAŠE VOJSKO

POSLÁNÍ A ÚLOHA AR
VE SPOLEČNOSTI

Ing. Jan Klíbal, šéfredaktor AR

Dnešní i budoucí poslání časopisu musí vycházet jak z jeho svazarmovských tradic, tak i z úkolů, které vyplývají ze současných potřeb společnosti. V hospodářské oblasti jsou to především úkoly vyplývající ze závěrů XVI. sjezdu KSČ o zvýšení efektivity a kvality veškeré práce, efektivních strukturálních změn především na základě maximálního využití výsledků vědy a techniky, a urychlený rozvoj elektrotechnického průmyslu, zejména mikroelektroniky a prostředků automatizace.

Ke zdárnému splnění výsoce náročných úkolů v rozvoji elektronizace, kybernetizace a automatizace v národním hospodářství, které byly uloženy XVI. sjezdem KSČ, je třeba vytvářet kádrové a věcné podmínky a dosáhnout výrazného zvýšení zájmu o tyto obory u širší odborné veřejnosti. Neméně důležité je, aby zejména vývojoví a konstrukční pracovníci jiných oborů (např. strojírenství, doprava, administrativa, zemědělství, potravinový průmysl aj.) měli hlubší znalosti o elektronice a mikroelektronice a mohli tak účinněji prosazovat elektronizaci do nově vyvíjených zařízení. Tyto doplňující znalosti mohou získat buď profesionálním (školským), nebo individuálním studiem. Pokud jde o profesionální úroveň vzdělávání, výuka těchto oborů se výrazněji rozšíří rozvojem nové výchovně vzdělávací soustavy, ve které se má, jak uvádí ministerstvo školství, značně zvýšit rozsah výuky informatiky, kybernetiky, elektroniky, automatizační a výpočetní techniky na všech stupních škol. Avšak i po absolvování školského studia je nutné další sebevzdělávání, neboť uvedené obory se stále bouřlivě rozvíjejí a je proto potřebný průběžný přísun informací o směrech a rozsahu jejich rozvoje. Uvedené skutečnosti dávají tušit širší profesionálního i amatérského zájmu o elektroniku a obory s ní úzce související.

Z hlediska minulého období (tj. před nástupem mikroelektroniky) se informovanost odborné veřejnosti i při soustavném rozvoji elektroniky jevila jako vyhovující. V dnešní době je však již „hlad a šňáčka“ po odborných informacích vyšší než stačí pokrýt nabídka, neboť vydávaná odborná periodika jsou za současného rozvoje mikroelektroniky pro profesionální, ale i vyspělé amatérské zájmy obsahově méně uspokojivá (vzhledem k tematickému rozsahu) a počtem vydávaných výtisků nestačí poptávce. Očekávaným nástupem mikroelektroniky do řady odvětví národního hospodářství se míra požadavků na informace a popisy konstrukčních řešení ještě výrazněji zvýší. Mezeru v popisech konstrukčních zapojení z větší části doposud vyplňují svým obsahem obě řady časopisů Amatérské radio.

Amatérské radio vznikalo v době, kdy elektronika byla z valné části pouze radiotechnikou. Obsahová náplň vyhovovala tehdejšímu potřebám informovanosti a konstrukční činnosti. V průběhu let, kdy elektronika stále více pronikala prakticky do všech oborů lidské činnosti, snažil se časopis držet krok v obsahové náplni s tímto vývojem. Ze se mu to dařilo, o tom svědčí i stále stoupající náklad – za 30 let od svého vzniku se zvětšil desetinásobně.

Podle registrační příhlášky je Amatérské radio branně technický časopis Svazu pro spolupráci s armádou, určený širokému okruhu organizovaných i neorganizovaných zájemců o radiotechniku a elektroniku, zejména z řad mladé generace. Posláním časopisu a jeho přílohy je v duchu branné politiky KSČ, stanov Svazarmu a úkolů vytyčených nejvyššími orgány Svazarmu přispívat k branné připravenosti čtenářů zvyšováním jejich politické a odborné technické úrovně.

V oblasti politické je jeho úkolem upevňovat marx-leninský světový názor a prohlubovat

internacionální citění. Otázky ideologického působení nejsou sice řešeny „přímou cestou“, použitím politických materiálů, ale řeší se obsahovou náplní odborně zaměřených článků. Jde zejména o pravidelné informace čtenářům o práci s mládeží ve Svazarmu, o péči, kterou naše společnost věnuje vědeckotechnickému rozvoji, ve zprávách o úspěších našich výrobců aj. Časopis také pozorně reaguje na všechna usnesení politických a státních i svazarmovských orgánů.

Časopis AR je však také jediným konstrukčním elektronickým časopisem v ČSSR, který se věnuje i aplikacím elektroniky do řady odvětví národního hospodářství. Tato skutečnost určuje kromě registrační vyhlášky i jeho odborné poslání – průběžně uspokojovat všechny zájemce o konstrukční elektronickou činnost, a to od úplných začátečníků až do úrovně profesionálních pracovníků z konstrukčních a vývojových kanceláří, kteří v něm hledají inspiraci a pomoc při řešení elektronických problémů na svých pracovištích.

Tím je politickovýchovná a odborné poslání časopisu (obou řad A i B) jednoznačně určeno a je ho nutno plně respektovat.

Bouřlivý rozvoj mikroelektroniky, výpočetní techniky, vývoj elektronických přístrojových systémů, řídicí a automatizační techniky, elektronické systémy sběru a vyhodnocování dat, radiolokace, navigační a záměřovací systémy, videosystémy a řada dalších – to vše, kromě klasické radiotechniky, otevřelo nesmírně široké možnosti konstrukterské a tím i publicistické činnosti (v oblasti teorie i praxe). Rozsah časopisu se však v průběhu let změnil pouze jednou, není proto v jeho možnostech v současné době uspokojivě pokrýt všechny požadavky, jak ze strany potřeb rozvoje elektroniky v celé její šíři, tak i potřeb Svazarmu, v němž během let vzniklo několik nových radioamatérských i elektronických sportů a odborností jako jsou radiový orientační běh, rychlotelegrafie, radioamatérský víceboj, hifi kluby, videotechnika, vznikající digikluby aj. Omezený rozsah časopisu nutně vede k tomu, že konstrukční i námětová informovanost nemůže dosahovat takového rozsahu a šíře, jaké současné potřeby a úkoly v elektronice vyžadují a je proto třeba, aby si i laskavý čtenář tuto závažnou skutečnost plně uvědomil.

Závěrem je možno říci, že obě řady časopisů AR se tedy musí z výše uvedených důvodů i v blízké budoucnosti zabývat politicko-odbornou svazarmovskou a společenskopolitickou problematikou a v odborné části se hlavně zaměřit – řada A: na výchovu mládeže pro radiotechniku (stálá rubrika R 15), na konstrukce z radiotechniky a běžné elektroniky, na zprávy ze svazarmovských klubů, výstav a veletrhů, na konstrukce pro méně pokročilé i vyspělé amatéry, na novinky v obvodové elektronice v zahraničí i na různé druhy elektroniky apod. Řada B bude obsahovat zejména monotematické systematické příspěvky z obecné radiotechniky, elektroniky a měřicí techniky pro vyspělejší radioamatéry i profesionální pracovníky, které budou vyčerpávajícím způsobem probírat zpracovávanou látku.

Touto obsahovou náplní se bude časopis i při současných značně omezených stránkových možnostech snažit uspokojovat celou šíři amatérské a z části i profesionální konstrukční činnosti tak, aby byly v AR plně realizovány závěry XVI. sjezdu KSČ o urychleném rozvoji elektroniky a jejích aplikací v ČSSR.

YAGIHO SMĚROVÉ ANTÉNY PRO VKV A UKV

Jindra Macoun

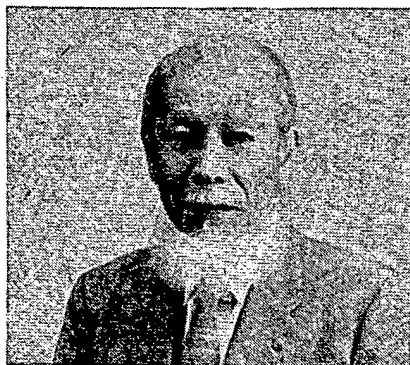
Známe celou řadu antén, které mají vlastnosti vhodné pro použití na pásmech VKV a UKV, at' již jde o směrovou komunikaci nebo příjem TV. Yagiho anténa je pro uvedené účely již tři desítky let anténou nejrozšířenější nejen pro své výborné vlastnosti elektrické, ale stejnou měrou i z hledisek konstrukčně mechanických. Yagiho anténa je při shodných elektrických parametrech podstatně lehčí, konstrukčně jednodušší a mechanicky odolnější než ostatní druhy antén. Tyto výhody jsou zvláště zjevné a vítané při amatérské realizaci. Jistým paradoxem však je, že její principy i základní problematika návrhu, popř. vztahy mezi rozměrovými a elektrickými parametry stále nejsou příliš rozšířeny anebo jsou mylně interpretovány. Proto je hlavním záměrem autora podat přístupným způsobem podstatné informace o těchto zajímavých i elegantních anténách tak, aby každý zájemce byl schopen se v této problematice orientovat, aby dokázal posoudit různé typy antén a uměl sám anténu realizovat i bez podrobného návodu.

Úvod

První práce o nové anténě publikovali v roce 1926 japonští vědci Hidetsugu Yagi a Shintaro Uda [1] až [3]. Jejich jmény je také nazývána. Správně se tato anténa tedy nazývá anténa Yagi-Uda, přestože název „jagina“ je dnes již terminus technicus. Je to nevděk vůči panu Udovi, který prý byl skutečným původcem antény. Je neprávem opomíjen a zůstává utajen i našim čtenářům, protože pro ně máme k dispozici jen snímek pana Yagiho (obr. 1).

Yagiho antény byly ve větším měřítku použity až ve II. světové válce jako antény prvních radiolokátorů na metrových a později i decimetrových vlnách. Dnes se používají zejména na VKV, kde jsou zcela převládajícím typem i v různých modifikovaných formách.

V posledních letech se však díky svým vynikajícím vlastnostem stále více prosazují i na KV při profesionálním provozu a rovněž na amatérských KV pásmech – počínaje pásmem 7 MHz (!). I když jde v obou případech v principu o stejnou anténu, je v použití podstatný rozdíl. Na VKV provozujeme, nebo lépe, měli bychom provozovat Yagiho antény v tzv. podmínkách volného prostoru (free spa-



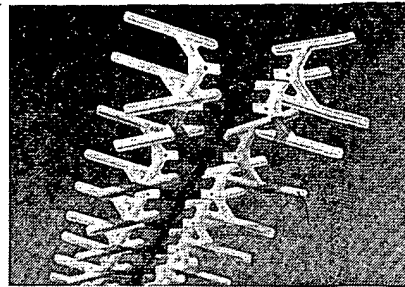
Obr. 1. Hidetsugu Yagi

ce). Na KV je anténa vzhledem k vlnové délce těsně nad zemí (above ground), a proto je žádoucí s touto skutečností při návrhu a provozu počítat. Vliv země a jeho účelné využití pro vyzařování Yagiho antén a jejich soustav pod optimálními elevačními úhly přispívá ke konjunktuře těchto antén na KV pásmech. Že jde ovšem o antény mimořádných rozměrů, není třeba zdůrazňovat. Protože v tomto AR řady B budeme probírat antény pro VKV a UKV^{*)}, jsou všechny další úvahy o vyzařovacích vlastnostech Yagiho antén vedeny tak, že s vlivem země nepočítají.

Praktické použití Yagiho antén bylo podnětem i k výzkumným pracím, které se rozvinuly až v poválečných letech. Vynikající práci je kniha autorů S. Uda a Y. Mushiaka: Yagi-Uda Antenna z roku 1954 [4]. Další významnější teoretické práce uveřejnili: Kraus [5], King [6], Walkinshaw [7], Vysokovskij [8], Reid [9], Sengupta [10] a další [11] až [20]. Experimentálnímu výzkumu se věnovali Ehrenspeck a Poehler [21], Lindsay [22], Greenblum [23], Kmosko a Johnson [24], Orr [25], a v poslední době jsou to zvláště Vezibice [26] a Lawson [27], jehož seriál článků dokumentuje velmi přístupným způsobem shodu mezi teorií a experimentem, když srovnává výsledky četných výpočtů s výsledky experimentálních prací. Zároveň ukazuje, že současná výpočetní technika zvládne i u několikaprvkových Yagiho antén složitou souvislost rozměrových a elektrických parametrů.

Všechny hlavní elektrické parametry Yagiho antén – směrovost, popř. zisk, činitel zpětného příjmu (záření), charakter vyzařovacího diagramu, popř. úhel příjmu v obou rovinách a úroveň postranních laloků a impedance – **spolu navzájem souvisí prostřednictvím základních rozměrů antény**, za které je třeba považovat: délky, průměry a počty prvků, a jejich vzájemné vzdálenosti. (Viz obr. 2, kde jsou vyznačeny všechny podstatné rozměrové parametry).

Při návrhu Yagiho antény tkví hlavní problém v určení základních rozměrů, nutných pro dosažení požadovaných elektrických vlastností v daném kmitočtovém pásmu. Z hlediska návrhu lze Yagiho



antény v současné době rozdělit na dvě skupiny. Kritériem pro toto rozdělení je způsob výpočtu elektrických vlastností.

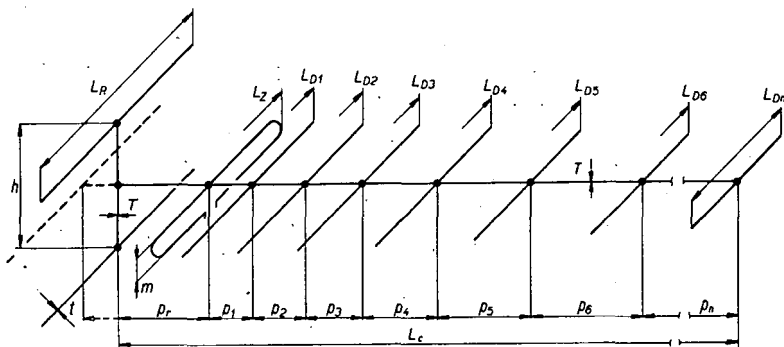
První skupinu antén tvoří tzv. **antény krátké**. Ty se řeší výpočtem proudů indukovaných ve všech pasivních prvcích. Diagram směrovosti pak vznikne superpozicí diagramů jednotlivých zářičů – prvků. Velikost a fáze indukovaných proudů (nebo napětí) je dána vzájemnou impedancí prvků. Její výpočet je však složitý. Právě pro tuto složitost bylo možné dříve vypočítávat jen antény tří až čtyřprvkové, tedy krátké. Vzájemné vztahy mezi základními rozměry, ziskem a impedancí u dvou a tříprvkových antén, vypočítané výše zmíněným způsobem, jsou pro praktické použití upraveny do grafů v dnes již klasické práci S. Udy [4]. Z grafů lze přímo zjistit jak zisk v dB, tak obě složky impedance v ohmech.

Použití počítačů přineslo v posledních letech značný pokrok i v této oblasti, takže výpočet vzájemných impedancí se dnes řeší i mnohaprvkové antény [16], [17], [18], [19], [20], [27].

Druhou skupinu antén tvoří tzv. **dlouhé Yagiho antény**, které lze teoreticky řešit jako antény s povrchovou vlnou. Řadu direktorů lze uvažovat jako úsek vedení, podél něhož se mohou šířit povrchové vlny. Při řešení se vychází z teorie šíření těchto povrchových vln, které jsou zvláštěním případem elektromagnetických vln [10], [12], [13], [14], [28]. Jsou charakterizovány tím, že jejich fázová rychlost šíření je vždy menší, než u elektromagnetické vlny homogenní (vyzařované např. anténou vysílače).

Na obr. 3 jsou schematicky znázorněny některé typy antén s podélným vyzařováním, které lze řešit jako antény s povrchovou vlnou. Je to anténa dielektrická a dále antény s různými druhy tzv. periodických struktur, mezi které patří i dlouhá Yagiho anténa. Ve skutečnosti jde u všech uvedených antén s povrchovou vlnou o antény dielektrické. Právě dielektrikum dielektrické tyče (trolitul, organické sklo apod.), obr. 3a, je u ostatních antén nahrazeno dielektrikem „umělým“, které tvoří řada vodičů, kotoučů, desek apod. Je vidět, že se tyto antény v podstatě skládají ze dvou částí – budiče a směrovače. Budičem je u Yagiho antény soustava zářič-reflektor, směrovačem je periodická struktura čili řada direktorů. U pravé dielektrické antény (obr. 3a) je budičem ústí vlnovodu a směrovačem dielektrická tyč. Budičem se převede elektromagnetická energie v dané struktuře na povrchovou vlnu. Směrovost antény pak závisí na fázové rychlosti šíření povrchových vln podél struktury. Fázová rychlost je dána základními parametry struktury – u Yagiho antény průměrem a délkou direktorů, jejich počtem a roztečí, popř. délkou antény. Čím je anténa delší, tím více se shodují výsledky měření směrových vlastností s teoretickými předpoklady.

Prakticky používané Yagiho antény, určené pro příjem na TV pásmech, či pro komunikaci na amatérských pásmech VKV a UKV, dosahují délek od 0,5 do 6 až



Obr. 2. Základní rozměry antény Yagiho antény

7 λ , leží tedy na rozhraní obou skupin, tj. v oblasti, v níž se zvětšuje složitost výpočtu antén krátkých a zmenšuje použitelnost a přesnost výpočtu antén dlouhých. Navíc jde o antény (TV) do značné míry širokopásmové, které mají mít v širším pásmu nejen určitý zisk, ale i příznivý směrový diagram, tj. malé nebo žádné postranní laloky, velmi dobrý činitel zpětného příjmu a samozřejmě i vyhovující přizpůsobení. Uvedené požadavky zatím nelze zvládnout pouze výpočtem, a tak většina antén tohoto druhu je výsledkem experimentálních prací, při nichž lze pro stanovení výchozích rozměrů využít i některých údajů, odvozených teoreticky.

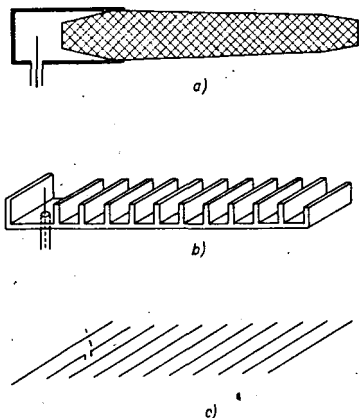
Výjimkou jsou krátké ($L_c = 0,3$ až $0,75 \lambda$), až šestiprvkové úzkopásmové antény na pásma KV. Počítat v tomto případě může dnes již nejen určit všechny rozměry včetně odstupňované štihlosti teleskopických prvků (na 14 a 7 MHz jsou takové prvky nezbytné), ale vyhodnotit i vliv země na vyzařovací vlastnosti. Experimentální optimalizace je v těchto případech téměř nerealizovatelná a modelové měření nezahrne vliv země. Bylo zjištěno, že vypočtené údaje jsou mnohem přesnější než naměřené [27].

Tolik tedy úvodem o Yagiho anténách. Nyní si probereme vliv jednotlivých prvků na směrové vlastnosti antény.

Směrové vlastnosti antén

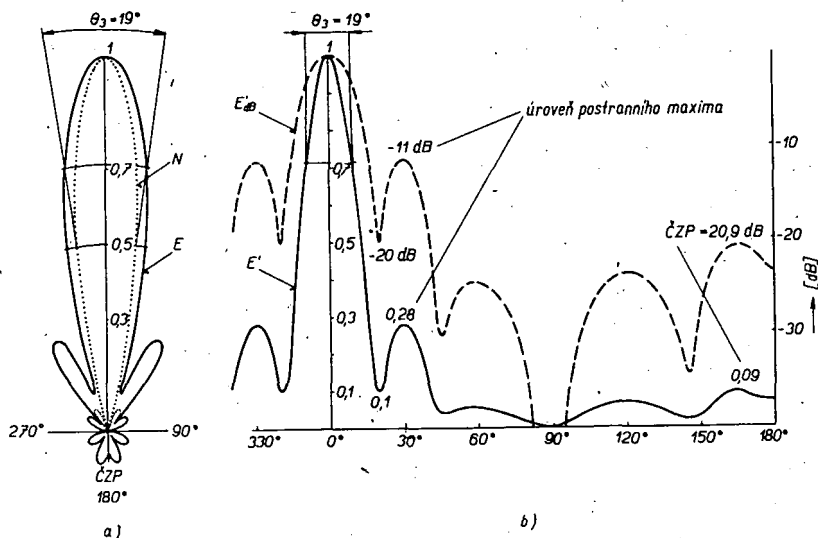
Pro lepší porozumění uvedu na toto téma nejprve několik obecných informací.

Grafické znázornění směrové charakteristiky ve dvou základních rovinách (ho-



Obr. 3. Několik antén s povrchovou vlnou; a) dielektrická anténa buzená vlnovodem, b) „hřebenová“ anténa buzená unipólem, c) Yagiho anténa buzená dipólem

rizontální a vertikální) poskytuje názornou představu o směrových vlastnostech antény. Tyto směrové diagramy se kreslí buď v polárních nebo pravouhlých souřadnicích. Polární souřadnice jsou snad názornější, jsou však méně přesné při znázorňování malých úrovní a členitých diagramů. Proto se při automatickém snímání diagramů zapisují křivky většinou v pravouhlých souřadnicích. Pro lepší



Obr. 4. Směrový diagram antény; a) v polárních souřadnicích, b) v pravouhlých souřadnicích

přesnost při menších úrovních a tím i k získání většího rozsahu se na svislou osu vynáší poměr napětí (nebo proudů) v dB.

Na obr. 4a a 4b je jedna a táž směrová charakteristika znázorněna čtyřmi způsoby. V polárních souřadnicích je nakreslen výkonový (N) a napěťový (E) směrový diagram. V pravouhlých souřadnicích je zakreslen stejný napěťový diagram (E') a tentýž diagram pro poměr napětí vyjádřený v dB (E'_{dB}).

Na první pohled je zřejmý rozdíl v informacích, které poskytuje diagram (N) a (E'_{dB}). V obou případech jde o tutéž anténu, laik by však považoval anténu s diagramem (N) za větší „bič“. Proto lze navzájem objektivně porovnávat antény jen prostřednictvím stejně zapsaných diagramů. U velmi směrových antén dáváme rozhodně přednost pravouhlému zápisu v dB. Výkonový diagram (N) je u většiny směrových antén téměř bezcenný. Používá se spíše u všesměrových vysílacích antén, neboť lépe znázorňuje malé nerovnoměrnosti ve vyzařování. Např. zmenšení výkonu o 3 dB je ve výkonovém diagramu znázorněno poloviční hodnotou.

Ze směrových diagramů můžeme zjistit hlavní parametry, které většinou do-

statečně charakterizují směrové vlastnosti antény. Pro úplnost si zopakujeme, jak je nazýváme a definujeme. Je to nutné, protože pro jednu veličinu nebo jeden jev jsou běžně používána různá pojmenování. Příčinou jsou vlivy zahraniční literatury, zvyky autorů, nebo pouhý záměr, vyjádřit použitým výrazem, zda jde o anténu vysílací nebo přijímací, případně jak uvažovanou anténu proměňujeme (většinou jako anténu přijímací). Z toho všeho pak pramení ona nejednotnost v názvosloví.

Směrová vyzařovací charakteristika nebo **směrový diagram**, **vyzařovací diagram**, **diagram záření** nebo **příjmu**, **relativní diagram směrovosti** – měřené antény (při určitém kmitočtu a v určené rovině) je grafické znázornění poměru mezi výstupním napětím této antény a maximálním výstupním napětím této antény. Poměr je sledován jako funkce úhlu natočení antény. Budeme-li uvažovat druhou mocninu tohoto poměru, dostáváme výkonový směrový diagram. **Směrové diagramy jsou nezávislé na impedančním přizpůsobení antény.**

Stručným vyjádřením směrových vlastností je **úhel příjmu**, nebo **úhel záření**, **vyzařovací úhel**, **šířka svazku**, **šířka** či

úhel hlavního paprsku nebo **laloku**, **úhel polovičního výkonu**. Vždy jde o úhlový rozdíl mezi směry, v nichž je úroveň vyzařování nebo příjmu menší o 3 dB proti maximu, tj. 0,71 maximální úrovně napětí nebo 0,5 maximálního výkonu. Úhel příjmu se zjišťuje v horizontální (Θ_H) a vertikální (Θ_V) rovině a průměr z obou údajů se označuje jako Θ_3 . Někdy se udává i úhel pro pokles o 10 dB (Θ_{10E} a Θ_{10H}).

Činitel zpětného příjmu (ČZP) nebo **záření (ČZZ)**, nebo velmi často **předozadní poměr (PZP)** – je poměr mezi napětím na výstupu antény, naměřeným ve směru maximálního signálu a maximálním napětím v opačném, nežádaném směru. Vzhledem ke kmitočtové závislosti členitosti tvaru zadní části směrového diagramu se považuje za nežádaný směr v rozsahu úhlů $180 \pm 90^\circ$ nebo $180 \pm 45^\circ$.

Někdy je účelné kvantifikovat i příjem z jiných směrů. Jde o úroveň **postranních maxim** nebo **laloků (paprsků)**, **činitel postranních laloků**, **činitel bočního (postranního) záření** nebo **příjmu**. V praxi nás většinou zajímá úroveň, případně i

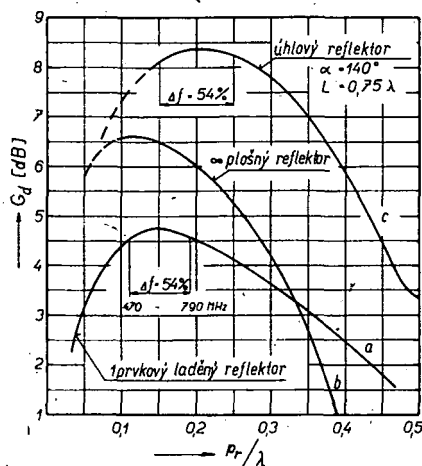
směr prvních postranních maxim po obou stranách hlavního paprsku. Proto se směrové vlastnosti antény doplňují tímto údajem, který se udává v dB v poměru k maximu vyzařování.

Konečným vyjádřením směrových vlastností je **provozní zisk antény** (G_p). Je to poměr napětí na výstupu antény, připojené k reálné zátěži, rovné charakteristické impedanci napáječe, pro který je anténa navržena, k napětí na výstupu dipólu $\lambda/2$, zakončeného přizpůsobenou zátěží pro každý měřený kmitočet. Obě antény musí být v homogenním elektromagnetickém poli orientovány na maximální příjem. Zisk se vyjadřuje v dB. Provozní zisk zahrnuje jak účinnost antény, tak i vliv impedančního přizpůsobení k napáječi.

Směrnost antény, popř. činitel směrnosti naproti tomu nezahrnuje účinnost antény, ani ztráty nepřizpůsobením. Veličina je dána jen prostorovým tvarem směrového diagramu a lze ji přesně vypočítat. Vyjadřuje se zpravidla prostým poměrem výkonů, které jsou schopny měřitelná a referenční (vztažná) anténa v optimálním směru přijmout nebo vyžářit. Absolutní činitel směrnosti S se vztahuje k všesměrovému (izotropnímu) zářiči. Relativní činitel směrnosti S_r se vztahuje k dipólu $\lambda/2$. Takže např. směrnosti $S_r = 50$ odpovídá (za předpokladu 100% účinnosti antény a dokonalého přizpůsobení) skutečný zisk $G_p = 17$ dB, směrnosti $S_r = 16$ odpovídá za stejných podmínek zisk $G_p = 12$ dB. Právě tyto údaje bývají často nesprávně interpretovány nebo záměňovány, což vede k nesprávným informacím. Zdrojem nejasností bývá i údaj o zisku antény v dB. Zpravidla se zisk vztahuje k dipólu $\lambda/2$. Příliš vysoké údaje o zisku antén mohou znamenat, že se jedná o zisk vzhledem k izotropnímu zářiči, který je o 2,15 dB vždy větší oproti zisku vzhledem k dipólu $\lambda/2$.

Reflektor a jeho vliv

Jak již bylo řečeno, skládá se Yagiho anténa v podstatě ze dvou částí: ze soustavy zářič-reflektor a z řady direktorů. Úkolem reflektoru je soustředit elektromagnetickou energii (vyzařovanou dipólem) podél řady direktorů, kde se pak šíří jako povrchová elektromagnetická vlna. Délka reflektoru a jeho vzdálenost od dipólu musí být takové, aby se v reflektoru indukovaly v proudy v protifázi, tj. aby působil skutečně jako reflektor a elektromagnetickou energii odrážel zpět. Musí tedy být vzdálen asi 0,15 až 0,25 λ od dipólu a jeho rezonanční délka musí být $\approx 0,5\lambda$. Průběh zisku v závislosti na vzdálenosti p pro soustavu dipól-reflektor na obr. 5 ukazuje, že vzdálenost p není kritická. Poměrně malé změny zisku soustavy dipól-reflektor při různém p se na konečném zisku celé antény projevují zcela nepatrně, zejména u antén delších. Vzhledem k funkci reflektoru v dlouhé Yagiho anténě lze soustavu dipól-reflektor nastavit samostatně. Připojením řady direktorů se původní optimální nastavení nezmění. Platí to zejména u antén dlouhých a širokopásmových. V praxi nastavujeme konečnou délku reflektoru tak, abychom na nejnižším kmitočtu pracovního pásma dosáhli vyhovujícího činitele zpětného příjmu. **Délka reflektoru tedy ovlivňuje dolní kmitočet pracovního pásma.** I s jednoduchým, tzn. jednoprvkovým reflektorem lze dosáhnout značně



Obr. 5. Křivky zisku dipólu $\lambda/2$ s různými reflektory.

velkých ČZP – ovšem jen u antén úzkopásmových.

Několikprvkový reflektor ovlivňuje velikost ČZP v širším pásmu, protože je v podstatě reflektorem širokopásmovým. Pro příjem TV, kdy požadujeme, aby ČZP = 20 až 23 dB, postačí dvou až tříprvkové reflektory, uspořádané přibližně podle obr. 2. Extrémním případem širokopásmového reflektoru je mnohaprvková reflektorová stěna, která však u Yagiho antény ČZP ani zisk již prakticky nezlepšuje.

Protože několikprvkový reflektor ztrácí charakter reflektoru laděného, přestává být délka jeho prvků kritickou. Prodloužení prvků nepůsobí ani patrné zmenšení zisku soustavy dipól-reflektor, ani nezhorší ČZP, příznivě však ovlivňuje impedanci antény. Proto se u několikprvkových reflektorů prodloužuje délka prvků L_R na 0,55 až 0,6 λ , aniž se tím degradují směrové vlastnosti antény.

Širokopásmové Yagiho antény na IV. a V. pásmo bývají vybaveny reflektorem úhlovým. Ten přispívá ke zvětšení zisku v dolní části pásma, v níž se postupně zmenšuje vliv direktorů a tím i zisk antény (viz obr. 55). Lze říci, že úhlový reflektor je

Vážený čtenáři!

Tímto číslem začínáme v řadě AR-B na vhodných místech v sešitě „pod čarou“ tisknout formu krátkých výňatků informace a citáty ze zasedání ústředních stranických a svazarmovských orgánů, které se svým zaměřením přímo dotýkají problematiky rozvoje elektroniky v národním hospodářství a v branných sportech. V tomto čísle to jsou výňatky ze závěrů XVI. sjezdu KSČ.

V elektronickém průmyslu urychlovat rozvoj výrobních kapacit s maximálním využitím výzkumně vývojového potenciálu i spolupráce se socialistickými zeměmi. Zvýšením výroby o 40 až 50 % vytvářet podmínky pro elektronizaci národního hospodářství. Přednostním rozvojem elektroniky a zvláště mikroelektroniky soustavně zvyšovat užitečnou hodnotu výrobků a technologií v rozhodujících odvětvích a oborech národního hospodářství. Urychlovat tím růst produktivity práce a snižovat spotřebu energie a materiálů.

nositelem zisku na začátku pásma a řada direktorů na konci. V principu jde již o anténní soustavu (zde poněkud předbíháme, o soustavách bude ještě referováno), sestavenou ze dvou principiálně odlišných antén. V kmitočtové oblasti, kde mají obě části této soustavy shodný zisk, je při optimálním uspořádání přírůstek zisku asi 2,5 dB. Přijatelné a vyvážené rozměry může mít tento typ antény jen na IV. a V. pásmu.

Je tedy možné shrnout (viz obr. 5): vzdálenost p není kritická u žádného typu reflektorů. Pro širokopásmovější ($\Delta f > 5\%$), nebo TV antény se používají reflektory několikprvkové, které ztrácejí charakter úzkopásmových laděných prvků.

Zařič

Zářičem je u běžných Yagiho antén zpravidla dipól $\lambda/2$. Může být jednoduchý nebo skládaný, někdy mívá i jiný tvar. Principiálně se však dipól $\lambda/2$ svým tvarem a provedením na směrovém diagramu celé antény nepodílí, tzn. že anténa se skládáním nebo jednoduchým dipólem $\lambda/2$ má shodný směrový diagram.

Výjimkou je celovlnný dipól (dipól λ), používaný většinou s úhlovým nebo plošným reflektorem u některých širokopásmových antén na IV. a V. pásmo. Víme, že dipól λ má zisk $G_p = 1,7$ dB. Má tedy vyjádřenější směrové účinky ($\Theta_{3E} = 60^\circ$) proti dipólu půlvlnnému ($\Theta_{3E} = 78^\circ$). Proto je možné budici soustavou reflektor-dipól λ u širokopásmových Yagiho antén zvětšit zisk na počátku pásma asi o 1,5 dB. K velikosti maximálního zisku na konci pásma však již prakticky nepřispívá.

Druh, tvar ani rozměry zářiče-dipólu $\lambda/2$ tedy nemají vliv na tvar směrového diagramu celé Yagiho antény, ovlivňují však rozhodujícím způsobem její impedanci. O tom však později.

Direktory – jejich rozměry a počet

Direktory mají rozhodující vliv na směrové vlastnosti antény. Jejich nesprávné rozměry bývají nejčastěji příčinou nevyhovujících směrových vlastností. Proto si jejich působení vysvětlíme podrobněji, i když s jistým zjednodušením.

Víme, že dlouhou Yagiho anténu můžeme uvažovat jako anténu s povrchovou vlnou, popř. jako anténu dielektrickou. Právě dielektrikum skutečných dielektrických antén je u Yagiho antén nahrazeno „dielektrikem umělým“, které tvoří prostor, jakýsi vlnový kanál, vytvořený (a vybuzený) řadou pasivních prvků, jejichž elektrická délka musí být kratší než $\lambda/2$. Je to tedy řada direktorů, která je schopna toto dielektrické prostředí vytvořit a vést povrchové elektromagnetické vlny. Při této příležitosti je vhodné poznamenat, že v sovětské literatuře je Yagiho anténa výstižně nazývána – „vlnový kanál“.

Při šíření elektromagnetických vln v dielektrickém prostředí zavádíme pojem fázová rychlost šíření. V prostředí s permitivitou (dielektrickou konstantou) větší než 1 ($\epsilon > 1$) je fázová rychlost šíření elektromagnetické energie menší než rychlost světla ve volném prostoru. Vlnová délka se tedy zkracuje. Příkladem může být šíření vln v sousostech kabelech s polyethylenovým dielektrikem, jehož $\epsilon = 2,3$ (plně dielektrikum) nebo $\epsilon = 1,5$ (pěnové dielektrikum). Použití dielektrikum zkracuje vlnovou délku na kabelu tak, že „elektrická délka“ kabelu je vždy větší, než jeho skutečná fyzikální délka. Zkrácení vlnové délky ($k = 1/v_\epsilon$), popř. fázová

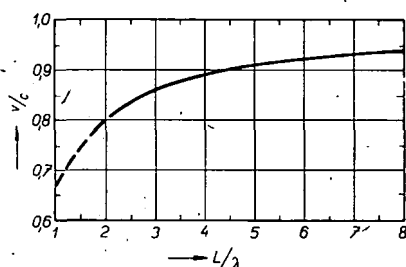
rychlost šíření elektromagnetických vln v sousém kabelu je tedy dána vlastnostmi dielektrika. Chová-li se tedy prostor podél řady direktorů (vlnový kanál) jako dielektrikum, je jeho vlastnostmi nutně ovlivněna fázová rychlost šíření povrchové elektromagnetické vlny a tím i směrové vlastnosti antény.

Čím větší je fázová rychlost šíření podél antény, tím větší je její zisk. Pro anténu dané délky lze vždy stanovit optimální velikost této fázové rychlosti, které lze dosáhnout vhodnými rozměry direktorové řady. Jakákoli jiná fázová rychlost šíření způsobí zmenšení zisku. Pro úplnost dodejme, že matematické vyjádření tohoto vztahu je tzv. Hansen-Woodyardova podmínka [28]:

$$\frac{v}{c} = \frac{L/\lambda}{L/\lambda + 0,5}$$

kde v je fázová rychlost šíření podél dielektrické struktury (podél direktorů), c rychlost šíření ve volném prostoru, popř. rychlost světla a L/λ celková délka antény, vyjádřená v příslušné vlnové délce.

Grafické znázornění tohoto vztahu je na obr. 6. Experimentátoři si mohou fázovou rychlost změřit. Vytvoříme-li podél



Obr. 6. Optimální zkrácení vlnové délky, podél Yagiho struktury. Grafické znázornění podmínky Hansen-Woodyardovy

Yagiho antény stojaté vlny pomocí dostatečně velké vodivé plochy umístěné před posledním direktorem, lze ze vzdálenosti minim nebo maxim zjistit délku vlny a tudíž i fázovou rychlost šíření podél antény. Při měření se anténa napájí vhodným generátorem a stojaté vlny se indikují sondou – nepatrným dipólem ($L = 0,01$ až $0,02\lambda$) těsně podél řady direktorů. Rozměry sondy musí být malé, aby se nenarušilo rozložení elektromagnetického pole.

Lze dokázat, že fázová rychlost šíření povrchové elektromagnetické vlny je menší než rychlost ve volném prostoru, je-li rezonanční délka direktorů kratší než $\lambda/2$. To je první podmínka pro vznik směrového účinku.

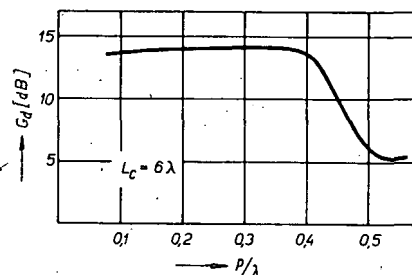
Dále platí, že se fázová rychlost

- zvětšuje se zkracováním direktorů, ale zmenšuje se jejich rostoucím průměrem,
 - zvětšuje se rostoucí roztečí direktorů,
 - zmenšuje se zvyšujícím se kmitočtem.
- Je vidět, že všechny závislosti jsou ve vzájemném vztahu. Prakticky to znamená:

Čím je anténa delší, tím kratší musí být direktory (aby bylo dosaženo optimální fázové rychlosti, popř. optimálního zisku). Nahradiíme-li direktory optimální délky jinými o větším průměru, zmenší se fázová rychlost i zisk. Aby bylo znovu dosaženo optimálních v a G_0 , je nutno tlustší direktory zkrátit;

Čím je anténa delší, tím mají být rozteče direktorů větší. Z toho dále logicky vyplývá, že při užití většího počtu direktorů (čili s menšími roztečemi) lze zmenšení zisku

kompenzovat zkrácením direktorů. *Takže anténa určité délky bude mít na daném kmitočtu stejný zisk při „hustších“ a kratších direktorech, jako při „řidších“ a delších direktorech.* Jak je zřejmé, **může mít tedy anténa dané délky optimální zisk s různými kombinacemi délek, průměrů i roztečí direktorů.** Existuje však jistá maximální rozteč, $p = 0,4\lambda$, po jejímž překročení se vazba mezi direktory zmenšuje natolik, že zisk antény trvale klesá (viz obr. 7, na němž je vyznačen zisk Yagiho antény dlouhé 6λ v závislosti na rozteči p direktorů).



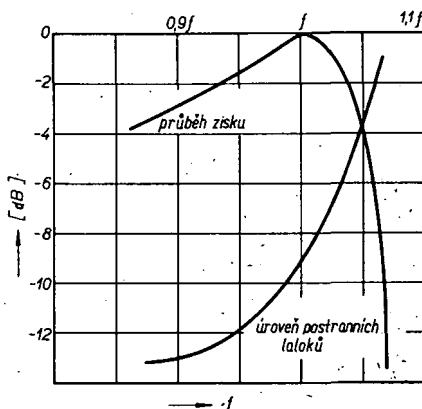
Obr. 7. Vliv roztečí (p) mezi direktory na zisk Yagiho antény

rů). Je vidět, že pro $p > 0,4\lambda$ se zisk zmenšuje výrazně. V praxi není příliš výhodné využívat maximálních roztečí mezi všemi direktory. Směrovost antény je kmitočtově méně závislá při menším p , kritičnost nastavení klesá. U širokopásmových antén se většinou volí $p = 0,3\lambda$. U dlouhých jednorázových TV antén nebo u antén pro úzká amatérská pásma VKV lze využitím roztečí až $p = 0,4\lambda$ zmenšit počet direktorů na minimum. Pro lepší vazbu na tak řídkou řadu direktorů je vhodné zmenšit rozteče mezi dipólem a prvními direktory, popř. přejít na maximální rozteč $0,4\lambda$ postupně.

Maximální zisk antény určité délky je tedy dán optimální fázovou rychlostí, čili vhodnými rozměry direktorů. Pokud jsou délky, průměry a rozteče direktorů konstantní, je konstantní i fázová rychlost povrchové elektromagnetické vlny podél antény. **Typickým znakem takové antény (se stejnými direktory ve stejných vzájemných vzdálenostech) jsou poměrně výrazné postranní laloky v obou rovínách.** Na kmitočtu maximálního zisku jsou tyto postranní laloky necelých 10 dB pod úrovní maxima směrového diagramu, což odpovídá zmenšení napětí na vstupu přijímače na 0,32 max. velikosti – viz obr. 8, na němž je charakteristický průběh zisku a úrovně postranních laloků Yagiho antény s konstantní délkou; průměrem i roztečí direktorů. Na nižších kmitočtech se zvolna zmenšují zisk (zvětšuje se úhel

příjmu) i úroveň postranních laloků. Za maximem, na vyšších kmitočtech se zisk zmenšuje náhle, vlivem rychle se zvětšujících postranních laloků. I když proti takové anténě (s postranními laloky 10 dB) nelze mít z hlediska zisku námitek, jeví se jako méně výhodná z provozních hledisek. I při příjmu středně silného TV signálu se totiž při směřování antény objeví obraz přijímané stanice třikrát, takže anténa se jeví jako vícesměrová (směřování není jednoznačné). Výrazné postranní laloky mohou někdy zdůraznit příjem odražených signálů (duchů). Na druhé straně lze někdy s výhodou využít ostrého minima, oddělujícího postranní lalok od hlavního, k potlačení odraženého signálu, který dopadá na anténu ze směru blízkého směru k žádané stanici. Toto maximum je velmi ostré, proto je třeba anténu směřovat velmi pozorně. To jsou tedy praktické důsledky použití antén s postranními laloky, tj. antén s konstantními rozměry direktorů a jejich roztečí.

Odstraněním, případně zmenšením úrovně postranních laloků při současném zachování zisku se zabývají některé teoretické práce [14], [17], [29]. Ukazuje se, že na rozdíl od předchozího uspořádání, kdy zůstává fázová rychlost konstantní po celé délce antény (konstantní rozměry



Obr. 8. Charakteristický průběh zisku a úrovně postranních laloků (maxim) Yagiho antény s konstantní délkou (L_0) a roztečí (p) direktorů

direktorů), je výhodné takové uspořádání, kdy se fázová rychlost lineárně zvětšuje nebo periodicky mění.

V praxi to znamená, že **postranní laloky lze zmenšit postupným zkracováním direktorů směrem od zářiče, nebo postupným zvětšováním roztečí mezi direktory, případně kombinací obou způsobů** – direktory se postupně zkracují a současně se zvětšuje jejich rozteč. Směrový diagram se sice poněkud rozšíří „za cenu“ ztráty postranních laloků, zisk však zůstane téměř stejný, případně se poněkud zmenší – při „rychlejších“ zkracování prvků, tj. u širokopásmovějších antén. Jistým měřítkem „rychlosti“ zkracování direktorů je poměr délek prvního a posledního direktoru (nebude se však v úvahu délka direktoru kompenzačního – viz dále). Uvedených poznatků se s výhodou používá zvláště u TV přijímacích antén, jak je ostatně zřejmé i z rozměrové tabulky vybraných a ověřených typů antén (tab. 2).

Rychlost změny délky a rozteče direktorů závisí na délce antény a šířce kmitočtového pásma. Čím je anténa delší a úzko-

- Zabezpečit téměř trojnásobný růst součástkové základny elektrotechniky, elektroniky, optoelektroniky a zejména mikroelektroniky. Zvládnout a rozšířit výrobu bipolárních a unipolárních integrovaných obvodů, mikroprocesorů s využitím moderních technologických zařízení včetně elektronové litografie. Vytvářet podmínky pro zavádění automatizovaných systémů řízení, zejména v oblasti obráběcích, tvářecích a textilních strojů.

pásmovější, tím se délky zkracují pozvolněji a tím dříve je možné zvětšit rozteč na maximum (0,4λ). Je-li třeba překrýt širší kmitočtové pásmo, direktory se zkracují intenzivněji a rozteče se zvětšují pomaleji. Konečné rozměry jsou nakonec většinou záležitostí experimentální.

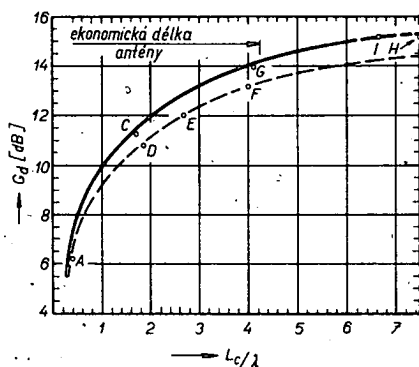
Experimentálně bylo též ověřeno, že u dlouhé antény Yagi s konstantní délkou direktorů lze zkrácením posledního direktoru (asi o 2 až 3%) zlepšit ČZP antény o několik dB. V principu jde o zmenšení diskontinuity mezi dielektrickým prostředím (prostorem) direktorové řady a volným prostorem.

Tolik tedy k vlivu direktorů na směrové vlastnosti antény.

Délka antény

Z toho, co bylo dosud uvedeno plyne, že **zisk antény je dán především celkovou délkou antény**. Aby byly vytvořeny podmínky k dosažení optimálního zisku je třeba vhodně volit délky a rozteče pasivních prvků (především direktorů). Z předchozího víme, že jsou možné různé způsoby optimálního uspořádání direktorů. U antén stejné délky však nutně musí vést k prakticky stejnému zisku.

Závislost zisku Yagiho antény na její délce je na obr. 9. Tlustá čára ohraničuje dosažitelné maximum. Byla stanovena experimentálně z četných měření různých



$\text{CSV} = 6$ je ztráta již větší než 3 dB. Menší CSV se vyžadují u antén vysílacích. Čs. normy však vyžadují velmi malé CSV i pro TV přijímací antény. CSV má být na obrazovém kmitočtu $\approx 1,6$, popř. $\approx 1,3$ pro televizní kabelový rozvod.

Určení správných rozměrů antény k získání optimálních směrových vlastností je u většiny Yagiho antén, jak již bylo řečeno, v konečné fázi záležitostí experimentální. V menší míře to platí i o impedanci. Ta se zjišťuje a nastavuje zásadně až po definitivním nastavení vlastností směrových. Vychází se z naměřeného průběhu impedance v pracovním kmitočtovém pásmu. Potřebné změny a úpravy rozměrů se u Yagiho antén dělají nejčastěji pouze v obvodu zářiče – dipólu. Pokud nelze zabezpečit správné impedance při přizpůsobení jen typem a rozměry zářiče, zařadí se mezi napáječe a dipól vhodný přizpůsobovací obvod (transformátor, bočník, paralelní nebo sériové vedení apod.). **Všechny změny v obvodu zářiče Yagiho antény nemají vliv na tvar směrového diagramu, již dříve nastaveného rozměry a roztečemi pasivních prvků.** Na druhé straně však jakákoli změna délek, průměrů či roztečí pasivních prvků, zejména nejbližších, má vliv na přizpůsobení, popř. impedanci antény.

Některým ze zmíněných způsobů lze anténu impedance přizpůsobit po předchozím změnění impedance na základě přesného výpočtu. Jisté obtíže lze očekávat na vyšších kmitočtech, kde se většinou nevyhne konečnému „doladění“. Jinak kontrolní měření zpravidla jen potvrdí, že vypočtené parametry kompenzačních popř. přizpůsobovacích obvodů vyhovují požadavkům. Tento způsob předpokládá přesné změřit obě složky impedance (reálnou a reaktanční), vhodnými a většinou drahými a nesnadno dostupnými přístroji.

Uvedený způsob měření, běžný v profesionální praxi, lze těžko realizovat amatérskými prostředky. Nicméně i za těchto okolností je možné amatérsky zhotovené antény zkoumo přizpůsobit jednoduchými prostředky. Je ovšem nutné seznámit se s problematikou přizpůsobení Yagiho antén obecněji a vyhnout se tak zhruba chybám již předem. Proto se v dalším textu zmiňuji o některých základních souvislostech mezi impedancí Yagiho antény a jejími rozměry.

Volba impedance antény je ovlivněna především druhem a charakteristickou impedancí zvoleného napáječe. Nejčastěji je to souosý kabel o impedanci 75 případně 50 Ω , nebo souměrná, většinou nestíněná dvoulinka o impedanci 240 až 300 Ω .

Podle napáječe volíme i druh zářiče, většinou je to dipól $\lambda/2$. Skládaný dipól je dnes nejužívanějším typem zářiče Yagiho antén od 50 MHz výše. Vzhledem k celkové (mechanické i klimatické) odolnosti je výhodné používat skládané dipóly se stejným průměrem obou vodičů, tj. zhotovených z jediné trubky, i když je to na nižších kmitočtech při amatérské realizaci méně pohodlné.

Vlastní impedance zářiče je v Yagiho anténě ovlivňována a mění se působením ostatních pasivních prvků; jejich vliv na celkovou impedanci antény je tím větší, čím těsnější je vzájemná vazba, tj. čím jsou zářiče blíže a čím více se svojí délkou blíží jeho rezonanční délce. **Největší vliv tedy mají reflektor a zejména první direktor.** Platí to zvláště pro krátké, úzkopásmové antény na pásma KV, na nichž se používají minimální rozteče p_1 a p_2 (0,1 až 0,15 λ). Malý rozdíl v rezonančních délkách reflektorů a direktorů, nutný k dosa-

žení optimálních směrových vlastností v úzkém pásmu, značně zmenší impedance zářiče – anténa se stává i z hlediska impedance úzkopásmovou a tudíž i citlivou na nepatrné změny rozměrů.

Impedance antén víceprvkových, popř. antén delších se přitom nezmenšuje tolik, jako impedance velmi krátkých antén úzkopásmových. Tato skutečnost není většinou známa a všeobecně se má zato, že se zvětšujícím se počtem prvků se zmenšuje impedance („odpor“) antény.

K vysvětlení této skutečnosti je třeba připomenout vztah mezi délkou antény a optimálním ziskem, popř. optimální fázovou rychlostí. Čím je anténa delší, tím větší fázovou rychlost je nutné volbou základních rozměrů nastavit. Fázová rychlost se zvětšuje se zkracováním direktorů. Čím je tedy anténa delší, čím má více direktorů, tím musí být direktory kratší; a čím jsou direktory kratší vzhledem k rezonanční délce dipólu, tím méně ovlivňují jeho původní impedanci. Zvětšující se počet direktorů, popř. prodlužování antény není tedy spojeno s tak výrazným zmenšením impedance, jako u antén krátkých. Impedance se zmenšuje tím méně, čím je anténa širokopásmovější. Vzájemné „rozladění“ mezi rezonančními délkami direktorů, zářiče a reflektorů je u širokopásmových antén značné, takže původní impedance dipólu se zejména na začátku a uprostřed pásma zmenšuje méně. K výraznému zmenšení impedance antény dojde až u nejvyšších kmitočtů pracovního pásma. Tím je zpravidla ohraničeno pracovní pásmo antény na nejvyšším kmitočtu. Pásmové impedance a směrové vlastnosti delších Yagiho antén mají přibližně shodný charakter v tom smyslu, že směrem k vyššímu kmitočtu omezují použitelnost antény náhle, zatímco směrem ke kmitočtu nižšímu pozvolna.

Z konstrukčně výrobních hledisek (zvláště u tovární výroby) je žádoucí používat zářiče – skládané dipóly – zhotovené ohnutím jediné trubky. Průměry obou vodičů dipólu jsou pak stejné; transformační poměr je 1 : 4 a jeho impedance je tedy asi 300 Ω . Tyto dipóly jsou výhodné i z hlediska klimatické odolnosti, protože na jejich koncích nemohou vzniknout korodující spoje, které se vytvářejí mezi spojovacími díly působením povětrnostních vlivů v chemicky agresivním průmyslovém ovzduší.

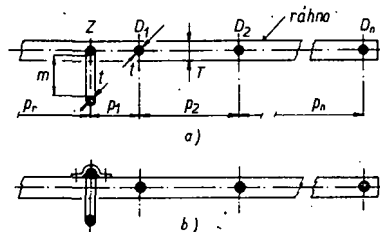
Dále je výhodné, vzhledem k použití podstatně levnějších nestíněných souměrných napáječů (dvoulinka), aby se impedance antén, především televizních, pohybovala kolem 300 Ω . Je to výhodné i při sestavování anténních soustav.

Potíže pramenící z požadavku zachovat původní impedanci skládaného dipólu u kompletní antény řeší tzv. kompenzační direktor, umístěný velmi blízko u dipólu ($p_1 = 0,03$ až $0,1\lambda$). Rozměry dvojice dipól – kompenzační direktor lze v širším pásmu značně ovlivnit impedanci antény, bez

patrného vlivu na již nastavené vlastnosti směrové. Není problémem udržet impedanci antény v okolí 300 Ω i v širším kmitočtovém pásmu. Z tohoto důvodu se již velmi zřídka využívá ke konstrukci antén skládaných dipólů s jiným transformačním poměrem než 1 : 4, tj. s nestejnými průměry trubek napájené a nenapájené části.

Rozměrové uspořádání dvojice skládaný dipól – kompenzační direktor se nastavuje experimentálně na nejmenší CSV, měřený vhodným přístrojem – nejednodušší reflektometrem. V nouzi vyhoví i nastavení na nejsilnější signál (obraz) na přijímači. Nakonec se anténa doladuje většinou již jen změnou p_1 .

Všechny ověřené antény, vybrané do tab. 2, jsou vybaveny dvojicí dipól – kompenzační direktor. Je vidět, že jejich rozměry se pohybují zhruba kolem průměru: $L_2 = 0,55\lambda$; $L_0 = 0,46\lambda$; $p_1 = 0,04\lambda$. Vlnová délka se vztahuje k nejvyššímu kmitočtu pracovního pásma, podobně jako v tab. 2. Charakteristický je téměř shodný rozměr p_1 a m při doporučeném uspořádání podle obr. 13. Odchyšky v délkách prvků a jejich roztečích jsou ovlivněny rozměry a roztečemi dalších



Obr. 13. Doporučené vzájemné uspořádání zářiče a direktorů na ráhnu antény

Obr. 14 je na 4. straně obálky

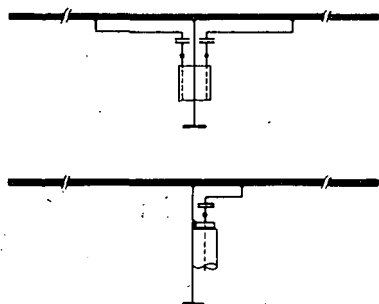
direktorů a šířkou pásma. Z těchto důvodů není možné zpracovat vzájemné rozměrové vztahy dvojice dipól – kompenzační reflektor do tabulkové formy. Je lépe se přidržet ověřených údajů konstrukčního návodu a v nejistých případech volit L_2 spíše větší a L_0 menší.

CSV naměřené u jednotlivých typů antén, zařazených do tab. 2, potvrzují použitelnost tohoto druhu impedance kompenzace i u antén pro širší pásma v širokém rozsahu kmitočtů.

Yagiho antény mohou být pochopitelně opatřeny i jinými druhy zářičů, popř. napájení. Je to např. skládaný dipól koaxiální, u něhož je kabel zavlečen do dipólu středem nenapájené části a připojen ke svorkám již bez další symetrizace (obr. 14). Vstupní impedance antény se však v tomto případě musí shodovat s impedancí napáječe (tj. 50 nebo 75 Ω). Používá se i tzv. bočnickové napájení, symetrické nebo nesymetrické (tzv. gamma-match). Je to ovšem přizpůsobení úzkopásmové, citlivé na nastavení bočnickové transformace a volbu kapacit, kompenzujících

– Ve strojírenství zvyšovat podíl výroby automatizovaných a automatických strojů a strojních systémů. Ve větším rozsahu vyvíjet výrobu jednoúčelových strojů a automatizovaných linek. V širší míře využívat elektronických prvků a urychleně osvojovat výrobu strojů s CNC – systémy na bázi mikroprocesorů.

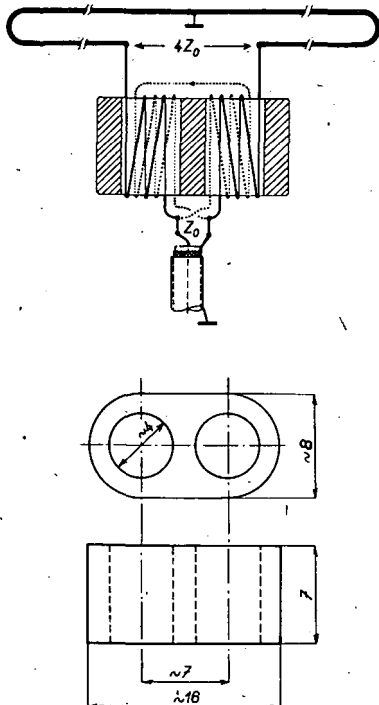
indukční reaktanci bočníku. Objevuje se častěji u úzkopásmových komunikačních antén pro KV. Jeho úspěšná aplikace na VKV (jen pro úzké pásmo) předpokládá dokonalé mechanické provedení, na kterém závisí přizpůsobení i symetrie buzení (obr. 15).



Obr. 15. Bočníkové napájení dipólu; a) symetrický bočník – tzv. delta match, b) nesymetrický bočník – tzv. gamma match

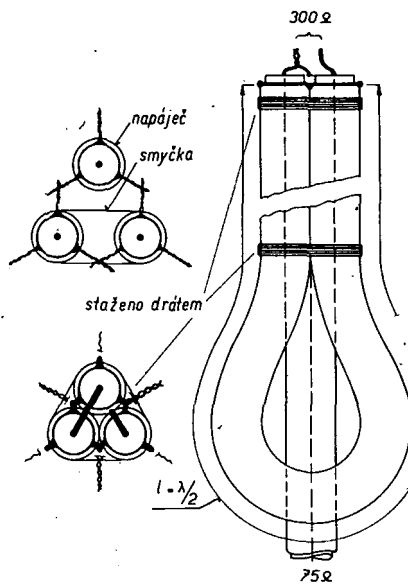
Z těchto a nejen z těchto důvodů tedy preferujeme výše popisovanou kombinaci skládaný dipól – kompenzační direktor, která zaručuje vstupní impedanci 300Ω a tím i nejjednodušší napájení souměrným napáječem – „dvoulinkou“.

Při napájení souosým kabelem se použije některý z širokopásmových elevátorů, vinutých na feritovém tělisku (pro I. až III. pásmo), nebo tvarově shodném tělisku z organického skla (pro IV. a V. pásmo) (obr. 16). Téměř bezztrátová $\lambda/2$ symetri-



Obr. 16. Širokopásmový transformační a symetrizační člen – elevátor; a) zapojení, b) rozměry těliska na IV. a V. TV pásmo. Materiál: organické sklo apod.

zační a transformační smyčka je použitelná pro pásma do 10 % na libovolných kmitočtech (obr. 17); podrobné konstrukční údaje o symetrizačních obvodech byly uvedeny v AR řady B, č. 6/1981.



Obr. 17. Transformační a symetrizační smyčka, doporučené uspořádání. Skutečná délka smyčky je $0,4\lambda$ pro pěnové PE dielektrikum a $0,33\lambda$ pro plné PE dielektrikum

Na závěr zdůrazňujeme, že napájení antén souosým kabelem by mělo být přednostní, mimo jiné je to i ve shodě s koncepcí moderních TV přijímačů, které mají již jen jeden vstup a to souosý. Elektricky správnější je udělat symetrizaci přímo u antény, než až u vstupu přijímače. Usnadňuje to též návrh, konstrukci a nastavení různých filtrů, vazebních členů, výhybek, prepínačů i anténních zesilovačů v souosém provedení.

Konstrukční a mechanická hlediska stavby antén

Venkovní antény jsou trvale vystaveny nepříznivým atmosférickým vlivům. Proto musí být konstruovány tak, aby po mechanické i elektrické stránce zůstaly trvale zachovány jejich původní vlastnosti. Vlastní konstrukce a provedení jsou právě tak důležité, jako správná funkce po stránce elektrické. Praxe ukazuje, že nevhodnou konstrukcí a špatnou povrchovou ochranou kritických míst lze antény s dobrými elektrickými vlastnostmi po delším (ale i kratším) používání znehodnotit. Při konstrukci je třeba uvažovat i hledisko bezpečnosti a snadnosti montáže.

Při návrhu antény je třeba počítat s trvalým působením, a častým střídáním těchto vlivů: vítr – silný, nárazový (dimenzování prvků a stožáru) i slabý, kterým se uvádějí prvky do určité rezonance a v jistých místech dochází k únavě materiálu a destrukci prvků, déšť – (zatékání do ochranných krytů a napáječů), námraza, změna teplot, chemické vlivy ovzduší (zvláště v blízkosti komínů a ve městech vůbec).

Působení těchto vlivů není všude stejné. V horských oblastech korodují antény zpravidla méně, ale s ohledem na častější výskyt námrazy budou nároky na pevnost prvků vyšší. I při amatérské konstrukci je třeba pamatovat na to, že ČSN 367210 připouští jen ty antény, u nichž jsou všechny prvky spojeny vodivě s kovovou nosnou konstrukcí, takže anténu lze chránit před účinky atmosférické elektřiny podle ČSN [42].

Hlavní konstrukční zásady – volba materiálů a povrchová ochrana

Aktivní a pasivní prvky Yagiho antén se obvykle zhotovují z lehkých slitin. Ocelových plechů a trubek se užívá jen na větší příchytky prvků nebo uchycení ráhna ke stožáru (obr. 18, 19, 20). Nejvhodnější

Obr. 18, 19 a 20 jsou na 4. straně obálky

jsou lehké slitiny hliníku a manganu, nebo hliníku a magnezia, laicky nazývané „dural“. Čistě hliníkové trubky jsou pro anténní prvky méně vhodné vzhledem k tomu, že hliník je málo pružný a poměrně měkký. Jeho nepřijemnou vlastností je tzv. „tečení“. Je to trvale postupující deformace působením tlaku, která je tím větší, čím je hliník měkčí a styčný tlak větší. Nepříjemně se to může projevit např. uvolněním přívodů napáječe, přitažení k hliníkové trubce, nebo posunutím pohyblivých dořadovacích konců antén KV při otláčení stahovaných konců prvků apod. Na druhé straně se z hliníkových trubek dobře ohýbají skládané dipóly.

Zcela nevhodným materiálem je mosaz. Mosazné trubky na volném ovzduší, především vlivem mrazu, rychle podléhají zkáze. Stípaou se, praskají a ulamují se.

Trvalá funkce antény je podmíněna vhodnou povrchovou ochranou, která zabraňuje korozi všech součástí vystavených nepříznivým vlivům ovzduší. Otázkám spojeným s protikorozivní povrchovou ochranou antén je v poslední době věnována velká pozornost. Snahou je chránit anténu tak, aby se podstatně prodloužila doba jejího života.

Amatérskými prostředky je pochopitelně obtížné zhotovit dokonalou povrchovou ochranu u antény. Zcela však postačí učinit s dosažitelnými prostředky taková opatření, která zabrání zhoubné korozi zvláště v místech mechanických spojů, a zaručí možnost demontovat anténu i po delším užívání těmi nástroji, jakými byla sestavena. Dokonalá nerozebíratelnost po určité době užívání bývá totiž jedním z největších nedostatků mnoha amatérských i profesionálně zhotovených antén.

Praxe ukazuje, že velmi účinným ochranným prostředkem je známý RESISTIN ML. Po sestavení antény jím potřeme všechny rozebiratelné i nerozebíratelné spoje, případně celou anténu. Je výhodné nanést nátěry dva. První nátěr se má nanést za vyšší teploty ($> 15^\circ \text{C}$). Vzniklý voskový povlak chrání velmi dobře celou anténu včetně rozebiratelných (šroubovaných) spojů, takže ani po delší době nečiní demontáž antény potíže – a po umytí benzínem vypadá anténa jako nová.

Součásti zhotovené z lehkých slitin nebo z hliníku se obvykle eloxují. Na jejich povrchu se vytvoří 10 až 20 mikronů

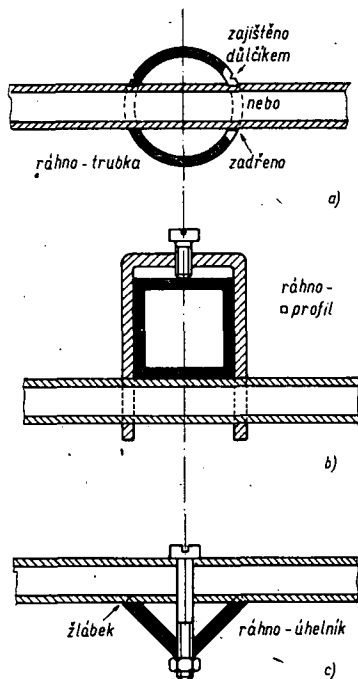
tlustá, neobyčejně tvrdá vrstva umělého kyslíčnicku (oxidu), která má vynikající ochranné vlastnosti. Barevné „eloxý“ pak dodávají anténám i atraktivní vzhled. Amatérskými prostředky lze takovou ochranu udělat stěží. Mechanické a elektrické vlastnosti těchto lehkých materiálů, vystavených bez jakékoli povrchové ochrany přímému i dlouhodobému působení agresivního ovzduší, se naštěstí v porovnání s ocelí nezhoršují, takže při amatérské výrobě antén není eloxování nutné. Povrch se sice po krátké době pokryje tenkou vrstvou přirozeného oxidu, která zdaleka nemá vynikající vlastnosti oxidu umělého, ale do značné míry materiál chrání, takže koroze dále nepokračuje. Umělé a přirozené kyslíčnický jsou však dobrým izolantem, což je třeba uvažovat při montáži spojů (především v místech s malou impedancí). Spojovaná místa musí být proto předem mechanicky očištěna.

Rovněž vř vlastnosti vodičů (prvků), pokrytých touto vrstvou přirozeného oxidu, nejsou znatelně horší. Je známo, že vř proudy protékají prakticky po povrchu vodičů (skinefekt); proud směrem do hloubky materiálu se zmenšuje exponenciálně. Čím je kmitočet vyšší, tím menší je tzv. hloubka vnikání a vř tím tenčí vrstvě proudy tekou. Tak např. na 200 MHz je to pro měď 0,005 mm a pro hliník 0,006 mm [31]. Proud v oboru VKV tedy teče prakticky jen po povrchu. Z toho by bylo možno usuzovat, že vrstva přirozeného oxidu s usazenými nečistotami (přirozený oxid je na rozdíl od umělého dosti porézní a usnadňuje usazování nečistot) může působit větší ztráty. Ztráty se skutečně zvětšují asi 100krát. Avšak vzhledem k tomu, že odpor vyleštěného prvku působí ztráty řádu promile, zvětší se znečištěním povrchu asi na 1 %, což je v praxi zanedbatelné.

Ocelové díly a součástky je však třeba na rozdíl od lehkých slitin povrchově chránit i při amatérské výrobě. Ocel se má zinkovat, chromovat a nakonec opatřit vhodným nátěrem. Galvanické pokovování je opět amatérskými prostředky většinou neproveditelné. Proto je nutné opatřit povrch ocelových součástí několika vhodnými nátěry. Např. základní nátěr 0-2004 a pak dvakrát povrchový S-2014. Pokud však nechceme nátěrem přispět k celkovému vzhledu antény, postačí chránit i ocelové součásti již zmíněným ochranným prostředkem RESISTIN.

A nyní ještě několik poznámek k jednotlivým dílům antény.

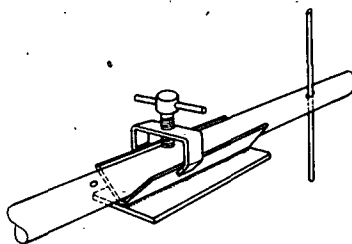
Přichytkami upevňujeme jednotlivé prvky na nosné ráhno. Zde se nabízí celá řada možností, jak toto spojení a upevnění vyřešit. Praxe ukazuje, že nejjednodušší je vetknout prvky přímo do ráhna (pokud to poměr průměrů T a t dovoluje), a jsou-li ráhno i prvek z lehké slitiny, zajistit jejich vzájemnou polohu přiměřeným „zadržením“. Díra v ráhnu se vyvrtá stejně velká jako je průměr prvku, který se zhruba uprostřed mírným úderem trochu zdeformuje. Pak se prvek zasune do ráhna a do střední polohy se s citem několika údery doklepne. Souměrné upevnění prvku v ráhnu, usnadní dvě rysky, kterými si na obě strany od jeho středu přede vyznačíme průměr ráhna T zvětšený asi o 2 mm. Další zajištění spoje důlčkem (obr. 21) není většinou nutné. Při případném rozebírání antény postupujeme stejně. Prvek vyklepeme do strany, ale neotáčíme kolem osy. Tím bychom jej ještě více zadrželi. Toto spojení pochopitelně není vhodné při různém laborování, kdy je výhodnější používat např. třmenové přichytky (obr. 22), a to i na kruhová ráhna. Z elektrického hlediska jsou si způsoby



Obr. 21. Tři způsoby spojení prvek-ráhno; a) prvek vetknutý, b) spojení třmenovou přichytkou, c) upevnění na úhelníkové ráhno

Obr. 22. je na 4. straně obálky

naznačené na obr. 21 rovnocenné, tzn. že nevyžadují korekci délek prvků (viz další text). Jisté potíže působí rovnoběžné vyvrtání potřebných děr do ráhna kruhového průřezu. Vhodnou pomůckou je přípravek podle obr. 23, který však není bezpodmínečně nutný. Snažíme se pře-



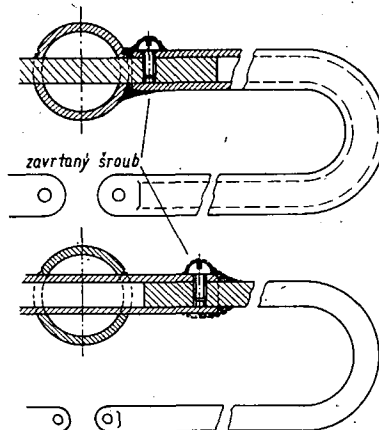
Obr. 23. Přípravek na vrtání děr do kruhového profilu

devším o rovnoběžnost prvků. Jejich dokonalý „zákryt“ ve směru ráhna je spíše požadavkem vzhledovým než elektrickým, i když by úhlový rozptyl prvků měl být co nejmenší. Přímé vetknutí prvků do ráhna je méně pohodlné pro skládání dipólů ohnutých z jediné trubky při požadovaném uspořádání prvků podle obr. 13a, kdy má nenapájená část skládaného dipólu ležet v jedné rovině s ostatními prvky. Pro takové uspořádání totiž platí rozměrové údaje na tab. 2. Při upevnění prvků podle obr. 13b se může v některých případech nepatrně zhoršit ČSV, zvláště u antén velmi dobře přizpůsobených (ČSV < 1,4). Směrové vlastnosti však tato změna neovlivní.

Rozdělením skládaného dipólu se vše zjednoduší. Do ráhna se upevní stejnými

způsobem jako ostatní prvky kratší trubka nebo tyč, do které (nebo na kterou) se zasunou (nasunou) z obou stran obě části skládaného dipólu. Je samozřejmě nutné zajistit dokonalé a trvalé spojení a kontakt všech částí závrtnými šrouby (viz obr. 24) a místo chránit nátěrem.

Šrouby a matice upevňující přichytky musí být vhodným způsobem zajištěny proti uvolnění (pérovými podložkami, „kontramaticemi“, zalokováním apod.).



Obr. 24. Mechanické spojení zářič - ráhno, pro dělený skládaný dipól

Na kabelové svorky, objímky stínění a pájecí očka se má použít pocínovaná měď, popř. pocínovaná mosaz s větším obsahem mědi, která nepraská při nízkých teplotách.

Ochranný kryt chrání místo připojení napáječe k anténě tak, aby nebylo vystaveno přímému působení povětrnosti, tj. především dešti, sněžení a námraze. Kryt má být z nenavíhávajícího izolačního materiálu. S výhodou je možno využít různých krabic a obalů z plastických hmot. Přírody napáječe antény musí být zhotoveny tak, aby bylo zabráněno přímému vnikání vody podél přívodů (např. odkapávacími drátky). Výhodné je přivést všechny přívody volně, dnem ochranného krytu, a dno ještě chránit převísem horní (odnímatelné) části. Kryt nemá být neprodyšně uzavřen, aby se zabránilo kondenzaci vody a tím i rychlejší korozi. Spojení uvnitř krytu se mají opět chránit nátěrem.

Držáky napáječe jsou nutné při užití souměrných nestíněných napáječů – dvoulinek. Upevňují napáječ a udržují jej v určité vzdálenosti od stožáru a ostatních předmětů. Zabraňují jeho poškození, k němuž dochází vlastní vahou a působením větru. U nestíněných napáječů je nutné použít v místě uchycení izolační materiál, aby vodivá část držáku neobepínala těsně napáječ. Šířka upevnění má být co nejmenší. Délka držáku se volí tak, aby nestíněný napáječ byl po celé délce dostatečně vzdálen od okolí, tzn. aby zůstaly zachovány jeho elektrické parametry. Za dostatečnou vzdálenost se považuje desetinásobek rozteče obou vodičů.

V souvislosti s konstrukcí a instalováním antény je třeba věnovat přiměřenou pozornost i montáži napáječe.

Montáž napáječů. Nesprávně instalovaný napáječ bývá velmi častým zdrojem poruch. Proto je nutné napáječ připojovat a vést velmi pečlivě. Konce napáječů se

připojují k anténě buď přímo přitažením pod hlavy šroubů s podložkou, nebo pájecími očky. Musí se pamatovat na to, že mezi mědi a hliníkem vzniká působením vlhkosti elektrolytická koroze, která časem původně dobrý kontakt poruší.

Je velmi důležité, aby se při odstraňování izolace z napáječů ani trochu nepoškodil žádný z vodičů. V narušených místech se po čase vodič velmi často přeruší. Platí to jak pro souosý kabel, tak pro dvoulinku.

Nevýhodou dvoulinek (zvláště plochých typů) je kromě zvětšeného útlumu vlivem vlhkosti a nečistot jejich snaha kmitat ve větru. Toto kmitání časem vede k úplnému přerušení vodičů, někdy i bez zjevného vnějšího poškození. Náchylnost ke kmitání se zmenší, jestliže mezi jednotlivými drátky dvoulinky několikrát přerouíme.

Nestíněné napáječe jsou vystaveny rušení. Oba rovnoběžné vodiče však přijímají rušení stejně, takže se rušivé signály v souměrných vstupech přijímačů prakticky vyruší. Příjem těchto rušivých signálů lze však zmenšit rovněž několika zkrutými napáječe mezi anténou a přijímačem.

Elektrické vlastnosti souosých kabelů pochopitelně nejsou ovlivňovány okolím, proto mohou být vedeny těsně podél stožárů, popř. uvnitř trubek. Je však třeba vyvarovat se ostrých ohybů (např. přes hrany okapů), v nichž může za horka dielektrikum změkknout a vnitřní vodič se může zkratovat na stínění. Protože ultrafialové záření má nepříznivý vliv na dobu života vnější izolace, snažíme se nevystavovat kabel příliš slunečnímu záření. Pokud je možné, nevedeme napáječe podél jižních stěn budov. Porušenou izolaci totiž vnika do stínění vlhkost, vodiče stínícího pláště korodují a zvětšuje se útlum poměrně drahého souosého kabelu.

To by byly asi tak nejdůležitější zásady konstrukce, povrchové ochrany a instalace antén a napáječů. Stojí za to věnovat jim právě takovou pozornost, jako problémům elektrickým.

Praktická realizace Yagiho antén

V předchozích kapitolách jsme se seznámili se základními vlastnostmi Yagiho antén. Víme, jaký vliv mají jejich rozměry na elektrické parametry, a víme, že lze pro dané pásmo navrhnout a optimalizovat Yagiho antény s různou délkou i různým počtem prvků. Na druhé straně pak vzájemné vztahy mezi všemi rozměrovými parametry umožňují realizovat antény s prakticky stejnými vlastnostmi, avšak s rozdílnými rozměry i počty prvků. Ostatně během doby bylo na trhu několik publikací, v nichž byly popsány desítky Yagiho antén různých typů pro různá pásma, mezi nimiž se méně informovaný zájemce těžko orientuje a které se v praxi často jeví jako shodné.

Zkušenosti potvrzují, že pro příjem TV i FM rozhlasu zcela stačí jen několik typů, které se navzájem liší svými směrovými účinky, popř. ziskem do té míry, aby rozdíly bylo možno zaznamenat při laickém hodnocení. Rozumíme tím subjektivní posuzování kvality více či méně zašuměného obrazu nebo zvuku, při němž jsou zpravidla patrné až asi 3 dB rozdíly v intenzitě přijímaných signálů. U zvukových

signálů, zejména s modulací FM, je vjem malých změn úrovně signálu zřetelnější. Pokud je ovšem přijímaný signál tak silný, že šum patrný není, nelze bez dalších opatření odhadnout pouhým pozorováním či poslechem ani přibližně i značné rozdíly v zisku antén (odtud pak pramení dojem, že se dá přijímat „na všechno“). Dále uvedené typy antén, které by současně měly být ukázkou praktické aplikace dosud uvedených poznatků, se tedy svými zisky postupně liší až asi o 3 dB. Těmto rozdílným odpovídají i rozdíly v celkové délce antén (L_c), takže uvedené typy umožňují i výběr s ohledem na homogenitu pole v uvažovaném místě příjmu. Větší pozornost věnujeme anténám s větším ziskem. Samozřejmým požadavkem je $ČSV \approx 1,6$ při vstupní impedanci 300 Ω v celém pásmu překryté skupiny kanálů s výjimkou posledního zvukového kmitočtu, kde se připouští $ČSV = 2,5$ (využívá se zejména na širokých kanálech I. pásma), a $ČZP \approx 20$ dB. Uvedené parametry ve většině případů postačují pro dobrou kvalitu obrazu.

Úmyslně opouštíme běžnou praxi konkrétních rozměrů u všechna pásma, popř. kanály; s přihlédnutím k tab. 1 jsou však uvedeny u vybraných typů antén rozměrové údaje vyjádřené ve vlnové délce odpovídající max. kmitočtu pracovního pásma. Výhodou tohoto způsobu je univerzálnost rozměrových údajů, které umožňují navrhnout ověřený typ antény pro jakýkoli kmitočet či pásmo.

Tab. 1 informuje o šířce pásem přijímaných kmitočtů. Z tohoto hlediska přicházejí v úvahu 3 varianty:

1. Antény s šířkou pásma asi 27 % (vzhledem ke střednímu kmitočtu) pro příjem celých pásem.
2. Antény s šířkou pásma asi 10 % pro příjem obou pásem VKV FM, dále jednotlivých kanálů na II. pásmu a skupin kanálů (K6/7, K8/9, K10/12, K21/26 ... atd.) na III. až V. pásmu
3. Antény s šířkou pásma asi 1,35 % na IV. a V. pásmu a asi 4 % na III. pásmu pro příjem jednotlivých kanálů, nebo pro amatérská pásma VKV.

Výjimkou jsou antény pro 15 % a 13 % šířku pásma u K1 a K2.

Z praktického hlediska se soustředíme zejména na druhou skupinu – antény pro pásmo 10 % (vzhledem ke střednímu kmitočtu), což umožňuje realizovat každý typ na všech pásmech. Rozměry se vypočítají z vlnové délky (tab. 18) příslušné žádanému nejvyššímu kmitočtu a rozměrových údajů soustředěných v tab. 2. Každá anténa je tedy popisována a určena:

1. **Písmenem** (počínaje A, B ...) pro potřebu stručného označení.
2. **Číselným symbolem**, který anténu stručně charakterizuje. Např. 5Y0, 4-0,9 označuje pětiprvkovou Yagiho anténu o celkové délce $0,4\lambda_{\min}$ pro pásmo $f_{\min}/f_{\max} = 0,9$, popř. $f_{\min} = 0,9f_{\max}$. Znamená to, že v uvedeném rozsahu jsou splněny v tabulce udané parametry.
3. **Rozměrovými údaji** vyjádřenými ve vlnové délce odpovídající nejvyššímu

Tab. 1. Relativní šířka kanálů, skupin kanálů a pásem

K1	15 % (0,86)	}	30,5 % (0,735)	I. pásmo
K2	13 % (0,88)			
VKV (OIRT)			8,5 % (0,92)	
K3	10 % (0,905)	}	27,3 % (0,76)	II. pásmo
K4	9,1 % (0,91)			
K5	8,3 % (0,92)			
VKV FM (CCIR)			11,5 % (0,88)	
K6	4,5 % (0,955)	}	8,8 % (0,915)	III. pásmo
K7				
K8		}	8,1 % (0,92)	
K9				
K10		}	27,5 % (0,755)	
K11				
K12	3,5 % (0,96)	}	11 % (0,895)	
K21	1,7 % (0,98)			}
K26				
K27		}	8,9 % (0,915)	
K32				
K33		}	9,5 % (0,91)	
K39	1,3 %			
K40	1,3 %	}	12,1 % (0,885)	V. pásmo
K49				
K50		}	23,8 % (0,79)	
K60	1 % (0,99)			

Relativní šířka pásma je vyjádřena v % vzhledem ke střednímu kmitočtu pásma, a dále poměrem f_{\min}/f_{\max} (číslo v závorce)

Tab. 2. Rozměrová tabulka vybraných typů Yagiho antén

Anténa	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Typ	5Y 0,4–0,85	5Y 0,42–0,9	7Y 1,7–0,98	12Y 1,8–0,92	14Y 2,7–0,9	20Y 4–0,91	17Y 4,1–0,96	28Y 7,3–0,9	21Y 6,6–0,96
Rozměry L_R	0,63 (2×)	0,608 (2×)	0,476 (1×)	0,576 (2×)	0,59 (2×)	0,604 (3×)	0,53 (2×)	0,615 (2×)	0,52 (1×)
L_Z	ρ 0,56 0,19	0,54 0,19	0,52 0,25	0,535 0,206	0,57 0,23	0,155+0,07 0,552	0,177 0,522	0,18 0,57	0,2 0,51
L_{D1}	ρ_1 0,472 0,032	0,47 0,036	0,47 0,05	0,453 0,045	0,464 0,05	0,48 0,05	0,461 0,064	0,426 0,044	0,469 0,084
L_{D2}	ρ_2 0,45 0,19	0,44 0,2	0,436 0,289	0,446 0,147	0,456 0,165	0,463 0,083	0,433 0,254	0,41 0,128	0,455 0,107
L_{D3}	ρ_3		0,43 0,406	0,439 0,155	0,448 0,172	0,459 0,121	0,433 0,304	0,408 0,266	0,44 0,234
L_{D4}	ρ_4		0,434 0,323	0,432 0,172	0,441 0,192	0,456 0,155	0,428 0,304	0,408 0,285	0,44 0,263
L_{D5}	ρ_5		0,43 0,422	0,426 0,189	0,433 0,211	0,452 0,19	0,415 0,304	0,403 0,303	0,433 0,289
L_{D6}	ρ_6			0,419 0,206	0,425 0,23	0,449 0,219	0,412 0,304	0,403 0,303	0,433 0,335
L_{D7}	ρ_7			0,412 0,233	0,418 0,25	0,446 0,242	0,408 0,304	0,403 0,303	0,433 0,39
L_{D8}	ρ_8			0,405 0,24	0,41 0,268	0,442 0,268	0,405 0,304	0,403 0,303	0,419 0,39
L_{D9}	ρ_9			0,398 0,257	0,402 0,287	0,439 0,293	0,401 0,304	0,398 0,303	0,419 0,39
L_{D10}	ρ_{10}				0,395 0,306	0,435 0,31	0,401 0,304	0,398 0,303	0,419 0,39
L_{D11}	ρ_{11}				0,387 0,325	0,432 0,31	0,401 0,304	0,398 0,303	0,419 0,39
L_{D12}	ρ_{12}					0,428 0,31	0,401 0,304	0,398 0,303	0,419 0,39
L_{D13}	ρ_{13}					0,425 0,31	0,401 0,304	0,395 0,303	0,411 0,39
L_{D14}	ρ_{14}					0,421 0,31	0,396 0,304	0,395 0,303	0,411 0,39
L_{D15}	ρ_{15}					0,418 0,31	–	0,395 0,303	0,411 0,39
L_{D16}	ρ_{16}					0,414 0,31	–	0,395 0,303	0,404 0,39
L_{D17} (ant. H.)	ρ_{17}					–	–	0,39 0,303	0,404 0,39
L_{D18}	ρ_{18}							0,39 0,303	0,404 0,39
L_{D19}	ρ_{19}							0,39 0,303	0,404 0,39
L_{D20} až 25 (ant. H.)	ρ_{20} až 25							0,39 0,303	
h	0,28	0,27	–	0,2	0,3	0,5	0,27	0,22	–
t	0,0034	0,005	0,0067	0,004	0,0045	0,01	0,01	0,0155	0,0058
T	0,004	0,004	–	0,01	0,015	0,035	0,03	0,042	0,024
m	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,005
L_c	0,41	0,43	1,67	1,84	2,68	4,02	4,14	7,27	6,58
S_E	1,2	1,2	1,6	1,5	1,7	2,2	2,3	3,0	2,8
S_H	0,75	0,7	1,5	1,3	1,5	2,0	2,1	2,8	2,6
Elektrické parametry									
G_d [dB]	5,1 až 6,2	5,0 až 6,0	11,5	9,8 až 10,8	10,6 až 12,0	12,5 až 13,2	13,5 až 14,0	12,0 až 15,2	14 až 15,2
ČSV_{3000}	1,3 až 2,5	< 1,4	< 1,6	< 1,6	< 1,3	< 1,3	< 1,6	< 1,5	< 1,6
ČZP [dB]	21 až 14	25 až 17	18	> 18	> 23	> 24	> 20	> 20	> 18
Θ_{3E} [°]	65° až 62°	65° až 62°	38°	48° až 41°	42° až 36,5°	33° až 29°	30° až 27°	26° až 19,5°	26° až 22°
Θ_{3H} [°]	108° až 92°	114° až 106°	40°	54° až 47°	50° až 41°	35° až 31°	34° až 30°	30° až 20,5°	28° až 24°
1.p.l.E [dB]	–	–	17	> 20	> 20	> 20	16	10,6	16
1.p.l.H [dB]	–	–	13	> 18	> 18	> 14	12	8,5	13

kmitočtu pracovního pásma. Nejvyšší kmitočet byl zvolen proto, že u většiny Yagiho antén pak již následuje zhoršení směrových vlastností. Současně nejvyšší kmitočet označuje oblast maximálního zisku. Výjimkou jsou krátké tři až šestiprvkové antény, u nichž může být rozložení zisku jiné.

4. Elektrickými parametry:

G_0 – zisk v [dB] proti dipólu $\lambda/2$,
 CSV – činitel stojatých vln na napájecí 300 Ω , popř. 75 Ω . U většiny antén se při užití napáječe 75 Ω předpokládá připojení symetrického transformátoru (symetrický smyčka nebo elevátor – viz obr. 16 a 17).
 ČZP – činitel zpětného příjmu v [dB],
 Θ_{SE} – úhel příjmu v rovině E,
 Θ_{SH} – úhel úříjmu v rovině H,
 $1.p.l._E$ – úroveň prvního postranního maxima (laloku) v rovině E,
 $1.p.l._H$ – úroveň prvního postranního maxima (laloků) v rovině H.

5. Doplnujícím textem se stručnou charakteristikou antény.

Stručný popis antén z tab. 2

A – pětiprvková anténa s dvojitým reflektorem, původně navržena pro televizní kabelový rozvod (TKR) na I. pásmu. Splňuje proto zpřísněné požadavky na elektrické parametry antén tohoto druhu. Jde zejména o dokonalé přizpůsobení v pásmu kmitočtů obrazového spektra a velký ČZP. Obou požadovaných parametrů je dosaženo, i když za cenu poněkud menšího zisku, výrazným prodloužením zářiče (skládaného dipólu), jeho těsnou vazbou na první (kompenzační) direktor a prodloužením reflektorů, které přispívá i k rozšíření pásma. Anténa je použitelná i na jiných TV pásmech, ovšem značná štihlost prvků prakticky neumožňuje její realizaci na pásmech UKV bez přepočtu jejich průměrů.

B – anténa téměř shodná s předchozí co do rozměrů i parametrů, původně navržena pro TKR na II. pásmu – K3, tedy pro užší pásmo než u antény A. Proto má i poněkud kratší reflektory, popř. menší rozdíl mezi L_1 a L_2 . Menší štihlost prvků umožňuje použít ji na všech pásmech s přijatelnými průměry prvků. *Velmi vhodná pro pásma VKV FM a jako vnitřní či okení anténa na UKV pásma ($t = 2$ až 3 mm).*

C – úzkopásmová anténa, která se svým uspořádáním do značné míry vymyká ostatním, v tabulce uvedeným anténám. Původně jde o šestiprvkovou anténu, vypočtenou počítačem podle teoretické práce Chenga [20]. Při minimálním počtu prvků pro danou délku L_0 je každý rozměr optimalizován, což na první pohled působí chaoticky. Anténa nebyla pochopitelně původně určena pro použití: šlo pouze o ověření teorie, takže její vstupní impedance byla bez další úpravy nevhodná. Proto byla pro praktické použití upravena dvojicí skládaných dipólů – kompenzační direktor. Provedená změna neměla patrný vliv na původní směrové vlastnosti. Anténa byla Chengem vypočítána pro nevodivé ráhno.

D – dvanáctiprvková anténa s dvojitým reflektorem a průměrným ziskem větším než 10 dB. Vlivem postupného zkracování direktorů a jejich zvětšující se rozteče má výrazně potlačené postranní laloky. *Univerzální anténa, původně určená pro III. pásmo, je velmi vhodná i na pásma UKV, kde ji lze při délce 0,7 až 1,1 m s výhodou upevňovat až za reflektorem, na stožár i okení rám. Pro větší „hustotu“ direktorů (poměrně malé rozteče p) má dobré širokopásmové vlastnosti, takže bez patrného zhoršení elektrických vlastností vyhovuje i na nižších kmitočtech (0,9 i 0,88). Proto se též dobře osvědčila na CCIR pásmu FM, kde je při $L_0 = 5,5$ m z hlediska amatérské realizace přijatelným maximum.*

E – v podstatě jde o anténu předchozí, optimalizovanou s ohledem na ještě přijatelné rozměry pro III. pásmo, kde dosahuje délky až 4,5 m. Původně byla určena pro TKR, takže má i výborný CSV $\leq 1,3$ v pásmu $f_{\text{min}}/f_{\text{max}} = 0,9$.

F – dvacetiprvková anténa s tříprvkovým reflektorem, *použitelná především na pásmech UKV*, pro která byla původně navržena. Má výborné elektrické parametry, CSV $\leq 1,3$, ČZP = 24 dB, CPL > 20 dB a $G_0 = 13,2$ dB v udaném pásmu. Je výrobně náročnější pro individuální rozměry každého z šestnácti direktorů. Posledních sedm direktorů má již konstantní rozteč. Rozměr p je složen ze dvou částí 0,155 a 0,07 λ_{min} , protože anténa je opatřena tříprvkovým, tzv. trigonálním reflektorem pro dosažení co nejlepšího ČZP v širším pásmu (viz obr. 2).

G – sedmnáctiprvková anténa s konstantní roztečí p_1 až p_4 ; má proto poněkud větší postranní laloky než anténa F, ale její zisk je pro danou délku maximální vzhledem k úzkopásmovému charakteru některých elektrických vlastností. Odvozena a ověřena z údajů podle [26]. S přihlédnutím k závislosti zisku na délce (viz obr. 9) je dnes možno považovat anténu této délky za *ekonomické maximum* a to i při použití v anténních soustavách.

H – typická dlouhá Yagiho anténa s konstantní roztečí direktorů a malou změnou jejich délky. V podstatě jde o anténu úzkopásmovou, takže v 10% šířce pásma je již třeba počítat se zmenšením zisku o 3 dB. Anténu o délce 7 až 8 λ lze sice na pásmech UKV ještě realizovat, *jde však skutečně o maximum*; u ještě delších Yagiho antén, jejichž zisk se asymptoticky blíží 15,5 až 16 dB, již značně klesá účinnost. *Nároky na homogenitu pole jsou při použití této antény již značné, takže vlastnosti tak dlouhých antén bývají v nevhodných podmínkách nevyužitelné.*

I – dlouhá Yagiho anténa, odvozená a upravená z experimentálně optimalizované antény pro úzké amatérské pásmo 435 MHz. Je známa pod radioamatérskou značkou autora – F9FT. Při minimálním počtu prvků (využívá se maximální rozteče $p = 0,39 \lambda_{\text{min}}$) a délce 6,6 λ se dosahuje zisku 15,2 dB. Postupně zkracované direktory zabezpečují příznivé postranní laloky. Původní impedance

antény, kolem 50 Ω , byla upravena na 300 Ω změnou rozměrů i provedení zářiče. Rozměry upraveného zářiče jsou méně kritické než původní úprava, a jsou ve shodě s doporučeným uspořádáním podle obr. 13b, popř. 13a. Vzhledem k úzkopásmovému charakteru antény (malé rozdíly v délkách direktorů a reflektorů) je žádoucí dodržet pokud možno s malými tolerancemi (± 1 mm) především délky všech prvků, zejména direktorů.

Při průměru prvků $t = 0,0058 \lambda$ vychází na IV. a V. pásmu průměr $t = 2$ až 3 mm, takže při nejjednodušší konstrukci (přímé vetknutí prvků do ráhna podle obr. 21a) dostáváme velmi lehkou a účinnou anténu, *vhodnou pro dálkový příjem TV*. Při délce 6,6 λ se ovšem zvětšují opět nároky na homogenitu elektromagnetického pole přijímaného signálu.

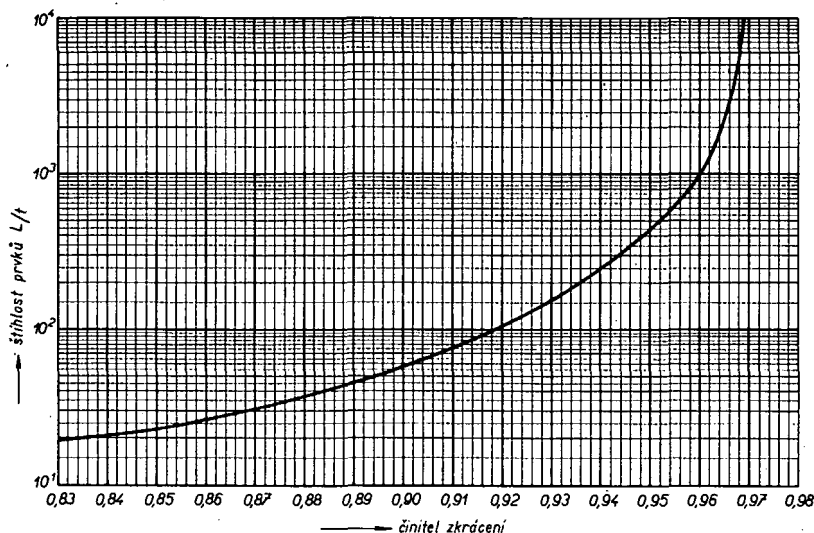
(Redakce AR pokládá za užitečné zdůraznit, že všechny typy antén uvedené v tab. 2 byly autorem ověřeny pro potřeby tohoto AR řady B, případně při jiných příležitostech.)

Detailní konstrukce antén není předepsána. Je třeba pouze dodržet zásady uvedené v kapitole – konstrukční a mechanická hlediska. Pro připevnění prvků na ráhno použijeme podle možností některý ze způsobů naznačených na obr. 21. Co do vlivů na elektrickou délku prvků jsou si rovnocenné. Všude je jako zářič použit skládaný dipól tvarovaný z jediného vodiče (trubky), jehož napájení i uzemnění (upevnění) část tedy mají shodný průměr. Vstupní impedance antény je v první řadě určena rozměry a vzájemným uspořádáním dvojice zářič-kompenzační direktor, které je použito u všech uvedených antén. Důležité je dodržet ve všech případech uspořádání podle obr. 13a, popř. 13b, tzn., že *uzemněná část zářiče leží v rovině direktorů*, napájená část zářiče leží mimo, kolmo k rovině prvků. Vzdálenost kompenzačních direktorů (rozměr p_1) je poměrně malá a většinou shodná nebo srovnatelná s šířkou zářiče (rozměr m). Pokud zářič nelze zhotovit z jediného vodiče – trubky, je nutné případně spoje trubek mechanicky i elektricky dobře zabezpečit proti dlouhodobému působení všech klimatických vlivů.

Rozměry prvků a jejich korekce

a) Štihlost prvků

Víme, že rozměry antény lze přepočítat na jiný kmitočet. Tato praxe je běžná, přepočet je jednoduchý a elektrické vlastnosti odvozené antény jsou prakticky shodné s vlastnostmi antény původní i při větším poměru kmitočtů. Předpokládá se pochopitelně přepočet všech rozměrů. Zatímco délku prvků i jejich vzájemnou rozteč lze realizovat pro každý případ, nelze vždy dodržet vypočítaný průměr prvků, který by se měl pochopitelně změnit ve stejném poměru jako ostatní rozměry. Praktická omezení jsou zde dána jak konstrukčními, tak praktickými hledisky. Např. anténa na III. pásmo s prvky o průměru 6 mm by měla mít po přepočtu na konec V. pásma prvky o průměru 1,5 mm; a opačně, u antény s původními prvky o průměru 6 mm na V. pásmu by bylo nutné použít na III. pásmu prvky o průměru 24 mm. I když proti elektrickým vlastnostem přepočtených antén nemoh-



Obr. 25. Zkrácení rezonančních délek prvků v závislosti na jejich štllosti

lo být námitek, jejich mechanické i vzhledové vlastnosti by mohly být nepřijatelné. Přepočtený průměr prvků však často nelze realizovat i pro nedostatek vhodných trubek.

Situace však není neřešitelná. Pomůžeme si grafem na obr. 25. S jistým zjednodušením lze říci, že dostatečně přesně znázorňuje závislost činitele zkrácení rezonančních délek válcových vodičů (prvků) na jejich štllosti, tj. na poměru délky a průměru (L/t – podle našeho značení rozměrů) v rozsahu 20 % kolem rezonanční délky $\lambda/2$. Je tedy použitelný pro korekci přepočítávaných délek prvků Yagiho antén v případech, kdy nelze dodržet vypočtený průměr, a použijeme jej i v případě, kdy jde prostě o zhotovení antény podle návodu, avšak s jinými průměry prvků.

Pro úplnost upřesňujeme, že u pasivních prvků Yagiho antén nejde vlastně o jejich rezonanční délky, ale o délky, pro které mají přepočítávané prvky shodnou reaktanci – u direktorů vždy kapacitní a u reflektorů zpravidla indukční.

Příklad. Chceme přepočítat anténu s $L_{D1} = 278$ mm a $t = 6$ mm z $f = 518$ MHz na 750 MHz. Pokud měníme L_{D1} i t v poměru obou kmitočtů, je výpočet jednoduchý. L_{D1} i t vynásobíme poměrem $518/750 = 0,691$:

$$L_{D1} = 278 \times 0,691 = 192 \text{ mm},$$

$t' = 6 \times 0,691 = 4,15$ mm. Prakticky je tedy možné použít prvky o průměru 4 mm. Pokud však chceme i na 750 MHz použít prvky původního průměru 6 mm, je přepočet trochu složitější. Využijeme grafu na obr. 25.

Vypočteme štllost prvků na 518 MHz: $L'_{D1}/t = 278/6 = 46$.

Vypočteme štllost prvků na 750 MHz: $L_{D1}/t = 192/6 = 32$.

Štllosti 46 odpovídá činitel zkrácení $k_{518} = 0,891$.

Štllosti 32 odpovídá činitel zkrácení $k_{750} = 0,873$.

Při stejném průměru t trubek je na 750 MHz direktor relativně tlustší; musí tedy být kratší, aby se jeho elektrická délka nezměnila. Zkrátíme jej v poměru $0,873/0,891 = 0,98$:

$L''_{D1} = 192 \times 0,98 = 188$ mm. Zkrácení činí 4 mm, je tedy poměrně značné. Je to dáno strmostí křivky pro štllosti menší než 100. Proto se při změnách průměrů prvků nedoporučuje zmenšovat štllost pod 20, neboť pak se zmenšuje přesnost přepočtu.

Z uvedeného příkladu je zřejmý vliv nesprávných průměrů. Proto je třeba věnovat tomuto problému při realizaci antén přiměřenou pozornost.

Pokud se mění průměr tak, že se štllost zvětšuje, násobíme při přepočtu původní rozměr opačným poměrem činitelů zkrácení, tzn. číslem větším než 1.

Z praktického hlediska přepočítáváme u Yagiho antény při změně štllosti jen pasivní prvky, především direktory. Pokud bychom totiž nekorigovali (nezkracovali) délku direktorů při jejich menší štllosti, zvětšila by se jejich elektrická délka, optimální kmitočtové pásmo by se posunulo k nižším kmitočtům a na maximálních kmitočtech pracovního pásma by se elektrické parametry antény, zejména zisk, mohly podstatně změnit k horšímu. Ve výše uvedeném případě by se při nerespektování změny štllosti prvků posunulo optimální nastavení direktorové řady na 735 MHz, a na 750 MHz by se pravděpodobně již zisk zmenšoval.

Použijeme-li naopak prvky štlhlejší, nedopustíme se žádné velké chyby, když direktory neprodloužíme. Pracovní pásmo antény se sice posune k vyšším kmitočtům, to však nezpůsobí takovou degradaci zisku jako v předchozím případě. Je to ostatně patrné i z obr. 8, kde je vyznačen charakteristický průběh zisku víceprvkové Yagiho antény.

– V automatizační technice rozvinout výrobu čidel, snímačů, servopohonů, signalizačních prvků a zařízení pro měření tepla, výrobu řídicí, regulační, měřicí a kontrolní techniky pro jadernou energetiku, hutnictví a chemii. Rozvíjet investiční elektroniku, měřicí, testovací, laboratorní a zdravotní techniku. Zabezpečovat dodávky moderních výpočetních systémů s potřebným periferním a programovým vybavením zvláště pro řízení technologických procesů. Výrobu elektronických počítačů a telekomunikační techniky rozvíjet v souladu s jednotlivými systémy zemí RVHP.

Pro ilustraci vlivu štllosti na délku prvků uvádíme experimentálně zjištěné délky direktorů u pětiprvkové antény pro $f = 640$ MHz, $\lambda = 461$ mm (tab. 3). Pro všechna t měla anténa stejný zisk. Byl to typ antény se stejnými direktory.

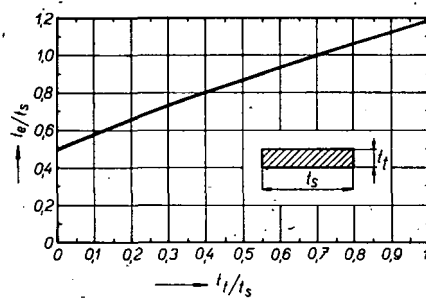
Tab. 3.

L_D	L_D/λ	t	L_D/t
206	0,44	1	206,0
203	0,433	2	101,5
196,5	0,419	4	49,1
189	0,403	8	23,6
178	0,38	16	11,1

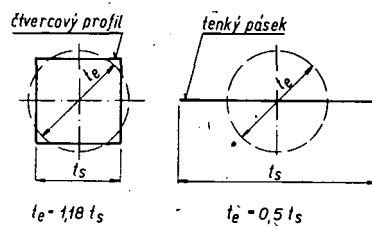
Použijeme-li k určení délky direktorů graf na obr. 25, dostaneme rozměry shodné s údaji v tabulce.

b) Profil prvků

Předchozí úvaha předpokládá kruhový průřez prvků. Někdy je k dispozici materiál jiného průřezu. Zvláště na IV. a V. pásmu lze s výhodou využít kovových pásků s obdélníkovým průřezem. Pak počítáme s jeho ekvivalentním průměrem t_e , který odvodíme z grafu na obr. 26. Pro dva mezní případy, pro čtvercový průřez a pro velmi tenký pásek je velikost ekvivalentního průměru na obr. 27.



Obr. 26. Ekvivalentní průměr (t_e) obdélníkového profilu



Obr. 27. Ekvivalentní průměr čtvercového profilu a tenkého páska

Pro čtvercový profil platí $t_e = 1,18 t_s$, pro nekonečný tenký pásek $t_e = 0,5 t_s$. Prvky s obdélníkovým průřezem s poměrem $t/t_s = 0,1$ (např. pásek 1 mm, široký 10 mm) tedy uvažujeme jako kruhové s $t_e = 0,59 t_s$. Aby koncová kapacita ostrých hran neprodukovala vypočtenou délku páskových prvků, je žádoucí přiměřeně zaoblit jejich konce.

Závěrem této kapitoly ještě jednu připomínku. Nežádoucí zmenšení štllosti direktorů a posuv pracovního pásma k nižším kmitočtům, někdy i dosti značný,

může způsobit námraza. Zejména čistý ledový krunýř dokáže směrové vlastnosti Yagiho antény značně zredukovat (pokud ovšem nezničí anténu úplně).

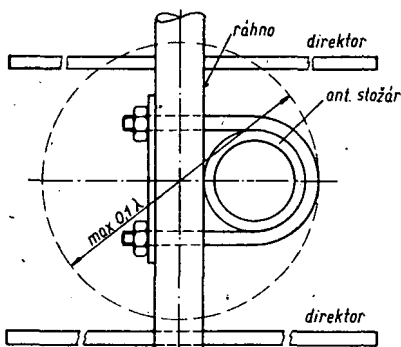
Při návrhu antén určených do oblastí s častějším výskytem námrazy se s jejich vlivem má počítat. Platí to především pro antény radiokomunikačních služeb, u nichž musí být zajištěna spolehlivost za všech okolností. Proto se používají prvky o větším průměru, aby se již předem zmenšil vliv změny šířlosti nárůstem námrazy, případně se ještě u Yagiho antén posunuje oblast optimálního zisku za nejvyšší provozní kmitočet, aby i při výskytu námrazy, kdy se elektrická délka prvků prodlouží, zůstaly v provozním pásmu zachovány žádané směrové vlastnosti.

c) Vliv ráhna

Průměr ráhna má na elektrickou délku prvků jistý vliv, který však není tak výrazný, aby jej bylo nutno brát v úvahu při každé změně doporučené nebo vzorové konstrukce. Obecně platí, že při náhradě nekovového ráhna kovovým je vhodné délku všech prvků do ráhna vetknutých, nebo na ráhno vodivě připojených prodloužit, aby se neposouvalo pracovní kmitočtové pásmo. Přesné výpočetní vztahy neexistují, protože změna délky prvků závisí nejen na velikosti či změně poměru T/λ , ale i na jejich šířlosti. (Informace publikované např. v [23] a [26] se navzájem neshodují a při jejich praktickém ověřování nebylo dosaženo uspokojivých výsledků.) V prvním případě se doporučuje prodloužit prvky zhruba o 2/3 průměru ráhna (při výměně nekovového ráhna za kovové). Autor druhého příspěvku [26] udává křivkou závislost změny délky prvku na průměru ráhna. V obou případech se však opomíjí poměr šířlosti prvků i ráhna, které mají podle našich zkušeností vliv na velikost korekce. Experimentálním objasněním tohoto problému se zatím nikdo nezabýval. S přihlédnutím k běžné praxi při amatérské realizaci antén však tento problém nepovažujeme za tak závažný. Vzorové konstrukce s nekovovým ráhnem se téměř nevyskytují, s výjimkou výpočtem navržených direktorových řad, u nichž se s vlivem ráhna nepočítá. V tom případě uplatníme poznatek z předchozí kapitoly, tzn. respektujeme doporučené délky direktorů, i když kovové ráhno poněkud posune jejich elektrické délky k vyšším kmitočtům, což však nemůže způsobit patrnou degradaci směrových vlastností.

Stejným způsobem se projeví použití relativně tlustšího ráhna oproti původně navrženému. To je ostatně nejčastěji se vyskytující případ. Vychází-li přepočtem na vyšší kmitočet ráhno příliš tenké, mechanicky nevyhovující, a chceme-li jeho průměr dodržet, lze konstrukci zpevnit vhodně navrženým podpůrným.

Obecně platí, že z vř hledisek je zcela libovolné, zda u jednoduchých Yagiho antén použijeme kovové či nekovové ráhno. Nekovové ráhno dokonce klade menší požadavky na rozměrovou symetrii direktorové řady, protože nemožno vzniknout vyrovnávací proudy v ráhnu. Ty zmenšují účinnost antény při rozměrové nesymetrii prvků vetknutých do ráhna kovového. Kovové ráhno je však žádoucí s ohledem na ochranu proti účinkům atmosférické elektřiny, protože galvanicky spojuje



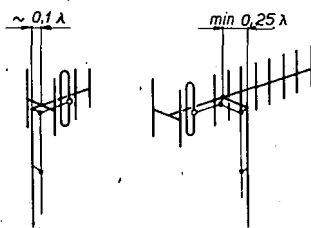
Obr. 28. Maximální rozměr pro upevnění stožáru k ráhnu

všechny aktivní a pasivní prvky s nosnou konstrukcí, takže celou anténu lze uzemnit a chránit proti účinkům atmosférické elektřiny a blesku podle ČSN 341380 a ČSN 341390. Pro továrně vyráběné antény je tento požadavek závazný.

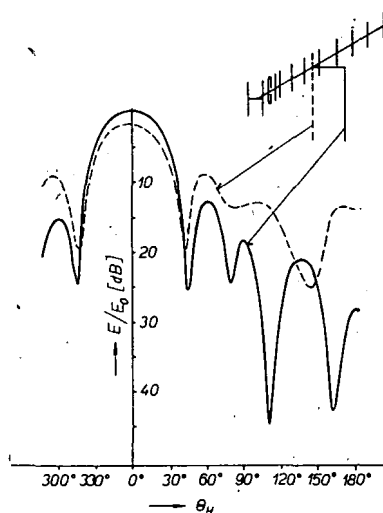
d) Vliv stožáru

Antenní stožár nemá ovlivňovat elektrické vlastnosti antény. Výjimkou jsou případy, kdy se stožár stává součástí antenního systému, jako tomu je u některých stacionárních, vertikálně polarizovaných antén pro radiokomunikační služby.

Horizontálně polarizovanou Yagiho anténu je nutno upevnit na stožár souměrně k ose ráhna. Se strany ráhna lze upevnit anténu jen tehdy, nezasahuje-li stožár i s upevňovací příchytkou mezi prvky natolik, že mezi nimi nepříznivě ovlivňuje



Obr. 29. Upevnění vertikálně polarizovaných antén



Obr. 30. Vliv stožáru na zisk a směrový diagram vertikálně polarizované Yagiho antény

elektromagnetické pole. Prakticky je s tím třeba počítat až na IV. a V. pásmu (viz obr. 28). Není-li tato podmínka splněna, je nutno stožár upevnit na podpůrné ráhno, nebo použít navíc výložné rameno.

Při vertikální polarizaci vedeme stožár zásadně vždy mimo řadu direktorů. U kratších antén za reflektorem, viz obr. 29a, u delších antén pomocí výložného ramena podle obr. 29b.

Vliv stožáru na zisk a směrové vlastnosti vertikálně polarizované Yagiho antény při jeho nesprávném upevnění je na obr. 30. Tímto způsobem jsou směrové vlastnosti antény, jak patrně, značně poškozeny.

Konstrukčním návrhem antenního stožáru z hlediska bezpečnosti a pevnosti se podrobně zabývají jiní autoři [32], [36]. Připomínáme však, že při návrhu je třeba přihlížet k „větrné zátěži“, kterou představují všechny antény upevněné na stožáru.

U velmi směrových antén se mohou rušivě projevit výkyvy pružného, ale z pevnostního hlediska vyhovujícího stožáru. Nejlépe je odstraníme přiměřeným zakotvením.

Antenní soustavy

Již z úvodních kapitol o směrových anténách jsme si osvojili základní poznatek o vztahu mezi směrovostí či ziskem a celkovými rozměry antény. Víme, že anténa může mít tím větší zisk, čím je rozměrnější, čím má větší tzv. účinnou plochu. Zatímco u směrových antén, u nichž konečným zdrojem záření je tzv. homogenně ozářené ústí antény (tj. např. u parabolických reflektorů, trychtýřů, plošných soufázových antén apod.), platí mezi účinnou plochou antény a směrovostí přímá úměrnost – čím větší plocha, tím větší zisk – blíží se směrovost Yagiho antény s rostoucí délkou určité, konečné velikosti, jak je patrné z obr. 9. Každým zdvojením délky jednoduché Yagiho antény zvětšujeme zisk asi o 2 dB. To platí až do délky asi 4λ . Dalším prodloužováním antény se však přírůstek zisku zmenšuje. Např. při prodloužení ze 4λ na 8λ je přírůstek zisku jen poněkud větší než 1 dB. Nemá tudíž smysl zvětšovat délku Yagiho antén nad 4λ pro rychle rostoucí nepoměr mezi pořizovacími náklady a klesajícím energetickým přínosem při dalším prodloužování antény, nehledě na potíže spojené s vlastní konstrukcí i provozem příliš dlouhých antén.

Ekonomicky lze zvětšovat zisk Yagiho antén sestavováním antenních soustav, složených z jednoduchých Yagiho antén o maximální délce 3 až 4λ . Optimálním složením 2, 4, 8 a 16 základních – dílčích – antén dostáváme antenní soustavu se ziskem teoreticky zvětšeným o 3, 6, 9, 12 dB. To znamená, že se každým zdvojením antény nebo antenní soustavy vyzářený výkon v žádaném směru teoreticky zvětší až dvakrát (o 100%), což odpovídá napětí na vstupu přijímače většímu až 1,4krát (o 40%). Ve skutečnosti je přírůstek zisku poněkud menší než 3 dB, takže pro praktickou kalkulaci počítáme s max. přírůstkem 2,5 dB. Tak např. antenní soustava složená z 2, 4, 8, 16 Yagiho antén o délce 4λ a zisku 13,5 dB může mít v nejlepším případě zisk 16, 18,5, 21 a 23 dB. Tohoto zisku bude dosaženo ovšem jen tehdy, budou-li dílčí antény, z nichž je antenní soustava složena, zařazeny v optimálních vzájemných vzdálenostech a budou-li respektována hlediska impedanční a fázová; dále pak musí být

minimální ztráty v napájecím systému soustavy.

Již zde je třeba zdůraznit, že důvodem pro konstrukci anténních soustav není vždy zvětšení dosahu, tj. hledisko maximálního zisku. **Konstrukci anténních soustav řešíme mnohdy úspěšně a často jako jediným možným způsobem i otázku nerušeného příjmu TV obrazu místních nebo nepřilíš vzdálených TV vysílačů**, kdy máme k dispozici signál sice dostatečně silný, ale znehodnocený odrazy, případně rušením z jiných TV vysílačů ze směrů jen málo odlišných od směru žádaného. Otázka zisku anténních soustav je v těchto případech druhořadá. Nejdůležitější je získat sestavením dvou či několika stejných antén v anténní soustavu vhodný tvar směrového diagramu. Jak uvidíme dále, lze totiž volbou vzdálenosti mezi jednotlivými anténami soustavy i způsobem napájení značnou měrou ovlivnit tvar vyzářovacího diagramu v horizontální nebo vertikální rovině, případně v obou rovinách, a tak částečně nebo úplně vyloučit odrazy, které s jednou, i když dobrou anténou, vyloučit nelze.

Někdy je možné odstranit tímto způsobem rušení vysílači na blízkých nebo sousedních kanálech lépe a jednodušeji, než různými filtry v napájecích:

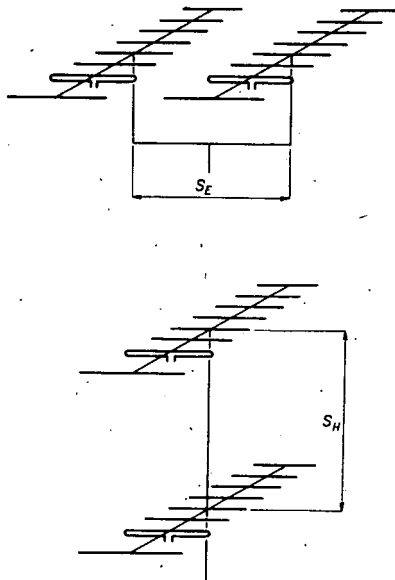
Při výlučně dálkovém příjmu TV nebo dálkové komunikaci na amatérských pásmech VKV však bývá konstrukce anténních soustav motivována především snahou po dosažení maximálního zisku. Směrové vlastnosti anténní soustavy (úhel příjmu, úroveň a směr postranních laloků a minim) jsou dány směrovými vlastnostmi jednotlivých základních antén, jejich počtem, uspořádáním, způsobem napájení a vzájemnou vzdáleností. Zatímco u jednoduchých („jednopatrových“) Yagiho antén jsou optimální rozměry většiny běžně užívaných antén výsledkem rozsáhlých prací experimentálních, je možno optimální rozměry anténních soustav stanovit jednodušeji – výpočtem. Ovšem jen za předpokladu, že jsou známy směrové diagramy (nebo jejich charakteristické údaje) základních antén soustavy v obou rovinách, popř. v rovině, v níž chceme z těchto jednotlivých antén anténní soustavu sestavovat.

Uspořádání jednotlivých antén do soustav

Sestavování jednotlivých antén v anténní soustavě a charakteristické vlastnosti soustavy si nejprve vysvětlíme na nejjednodušší anténní soustavě, složené ze dvou antén.

Dvě antény lze složit v nejjednodušší anténní soustavu tak, že je zařadíme buď nad sebe (obr. 31a) nebo vedle sebe (obr. 31b). Pro jednoduchost uvažujeme nadále antény horizontálně polarizované. Při řazení antén nad sebou se nezmění původní tvar směrového diagramu základní antény v rovině horizontální (rovina E). Směrový diagram takové anténní soustavy zůstane stejný jako u základní antény. Nezmění se tedy ani úhel příjmu, ani charakter postranních laloků a minim, ani činitel zpětného příjmu. Při příjmu zůstane taková anténní soustava nasměrována stejně jako anténa základní.

Řazením jednoduchých antén nad sebou je ovlivňován jen směrový diagram v rovině řazení, tj. v rovině vertikální (rovina H). V závislosti na vzdálenosti mezi oběma anténami se bude v této rovině měnit charakter směrového diagramu – úhel příjmu, úroveň a počet



Obr. 31. Dvoučlenná anténní soustava; a) jednotlivé antény nad sebou, b) jednotlivé antény vedle sebe

postranních laloků a minim. Činitel zpětného příjmu však zůstane stejný (ve směru 180°).

Při řazení antén vedle sebe je tomu naopak. Nezmění se tvar směrového diagramu základní antény soustavy v rovině vertikální, ale v závislosti na vzdálenosti mezi anténami se bude měnit charakter směrového diagramu v rovině horizontální podobným způsobem, jako v rovině vertikální v případě předchozím. Činitel zpětného příjmu (pro 180°) však i v tomto případě zůstane shodný s činitelem základní antény. Prakticky to znamená, že řazení antén vedle sebe bude mít, na rozdíl od případu předchozího, určitý vliv jak na provozní techniku na amatérských pásmech VKV, tak i na směrování TV přijímacích antén. Výsledný směrový diagram, nebo lépe úhel příjmu této anténní soustavy totiž bude v rovině horizontální zhruba o polovinu užší, s výraznými (>–30 dB) a ostrými minimy mezi hlavními a prvními postranními laloky.

Pro provozní techniku na neužívanějších pásmech VKV, kde nám jde především a většinou jen o větší zisk, je podstatně výhodnější (i z hledisek konstrukčních) uspořádání první, tj. dvojice základních antén nad sebou (obr. 31a), popř. řazení antén nad sebou vůbec.

Anténní soustava, kterou tvoří dvojice nebo několik základních antén vedle sebe (obr. 31b), má stejný zisk jako anténní soustava složená ze stejného počtu základních antén řazených nad sebou. Směrové účinky s ohledem na vyloučení rušivých, nežádaných signálů jsou však výraznější, takže taková anténní soustava je v mnoha případech velmi vhodná v místech, kde je příjem znehodnocen odrazy či rušením, dopadajícím na přijímací anténu ze směru jen málo odlišných od směru žádaného.

Praktický příklad je znázorněn na obr. 33, kde pro

$f = 199,25 \text{ MHz (K9)}$ jsou:

a) směrový diagram běžné dvoukanalové dvanáctiprvkové TV přijímací antény (pro K8 a K9) typ 12Y 1,8-0,92 (anténa D). Délka L_c antény na 200 MHz je $1,75\lambda$. Úhel příjmu na uvedeném kmitočtu je $41,5^\circ$. Zisk proti dipólu $\lambda/2$ je 10,6 dB.

b) směrový diagram anténní soustavy sestavené ze dvou takových antén, umístě-

tých vedle sebe ve vzdálenosti $S_E = 1,5\lambda$. Úhel příjmu této soustavy (Θ_E) je 18° . Zisk je 13,2 dB.

Jelikož jde o potlačení nežádaného signálu, který dopadá na anténu ze směru jen málo odlišného od směru žádaného, zajímá nás též úhel mezi maximem hlavního laloku a prvním minimem, které má nežádaný signál potlačit. Minimum výše zmíněné antény je od maxima hlavního laloku odchýleno o 45° . První minimum anténní soustavy, složené ze dvou antén typu 12Y 1,8-0,92 – navzájem vzdálených $1,5\lambda$, je od maxima hlavního laloku odchýleno jen o 19° .

Mějme nyní dva stejně velké signály – žádaný (S) a rušivý (R), které na přijímací anténu dopadají ze směrů, lišících se jen o 10° . Uvažujme nyní tyto čtyři případy (viz obr. 33):

1. Při příjmu na základní anténu optimálně nasměrovanou na žádaný signál S, je napětí nežádaného, rušivého signálu R zeslabeno na 93%, tj. o 0,65 dB. Prakticky tedy není zeslabeno vůbec.

2. Natočíme-li tuto základní anténu tak, aby se směr prvního minima shodoval se směrem k rušivému signálu, zmenší se, případně zcela zmizí rušení. Napětí žádaného signálu se však zmenší na 29% max. velikosti, tj. zmenší se o 10,5 dB.

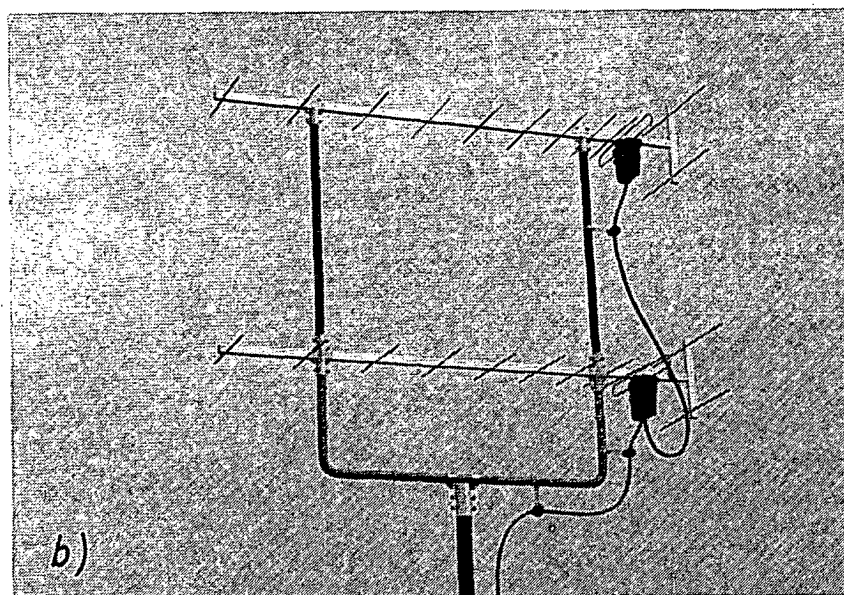
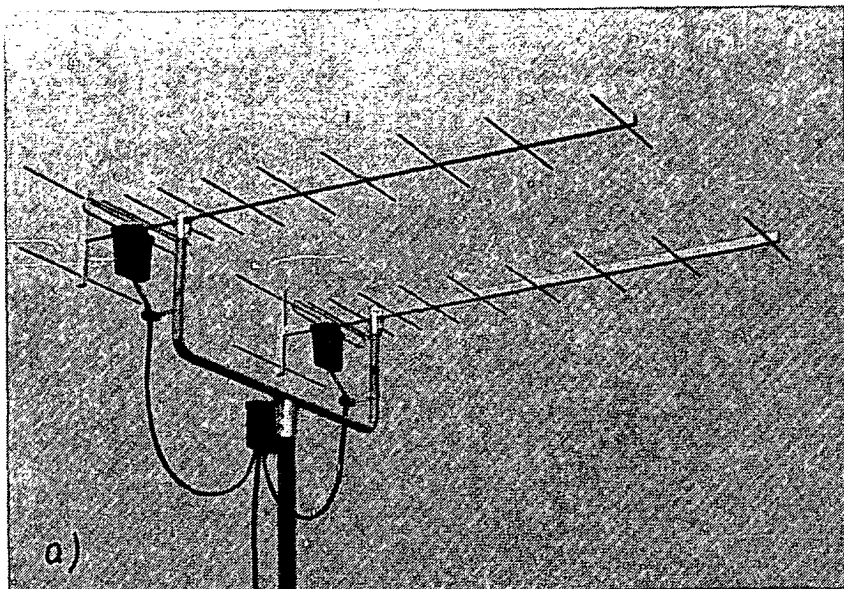
3. Při užití optimálně nasměrované anténní soustavy podle obr. 33 je nežádaný signál zeslaben na 63% max. velikosti, tj. zmenší se o 3,8 dB. To také není dostatečné.

4. Pozorným natočením této anténní soustavy tak, aby se směr prvního minima shodoval se směrem k rušivému signálu, lze většinou toto rušení zcela odstranit. Napětí žádaného signálu se přitom zmenší jen na 71% maximální velikosti, tj. o 3 dB. Tato anténní soustava však má o 2,5 dB větší zisk než anténa základní, takže žádaný signál je zeslaben jen o 0,5 dB. Odstup obou původně stejně silných signálů se tak zvětší na více než 30 dB, aniž se přitom patrně zeslabí žádaný signál. (Pro úplnost je vhodné podotknout, že vzájemná vzdálenost uvedených antén, která je $1,5\lambda$, je v tomto případě i optimální vzdáleností z hlediska maximálního zisku této soustavy. Podrobnější informace o vlivu vzdálenosti dílčích antén na směrové vlastnosti anténních soustav jsou uvedeny dále).

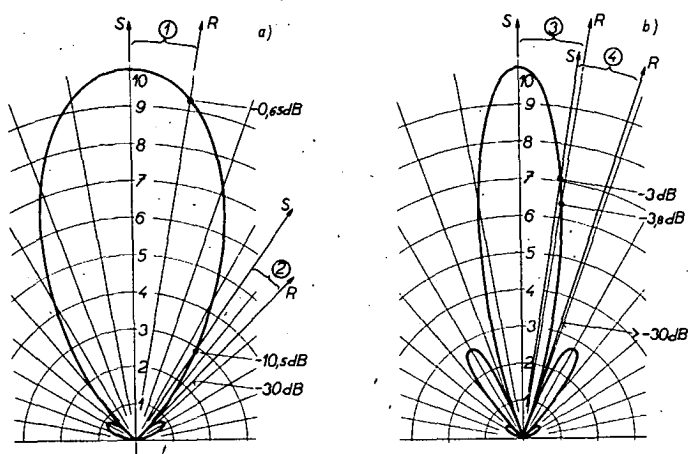
Kombinací dvou výše uvedených a nejjednodušších anténních soustav vzniká soustava, složená ze čtyř základních antén – obr. 34. Její maximální zisk je asi o 5 dB větší v porovnání se základní anténou. Směrový diagram, popř. úhel příjmu je opět zhruba o polovinu užší, ovšem v obou rovinách. Energetický přenos, daný ziskem větším téměř o 6 dB, se prakticky projeví jen při příjmu velmi slabých signálů, takže tato soustava je za určitých předpokladů (je-li umístěna v dostatečně homogenním elektromagnetickém poli) vhodná pro dálkový příjem TV.

Bývá častěji používána na IV. a V. pásmu. Na III. pásmu je její realizace poněkud obtížnější pro potíže konstrukčně mechanického rázu, neboť vzájemné vzdálenosti antén zde dosahují až 3 m.

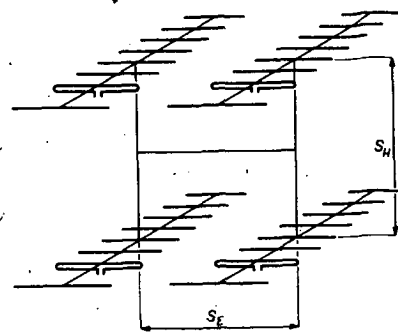
Tolik tedy na vysvětlenou k základním způsobům řazení jednotlivých antén v nejjednodušší a tedy poměrně jednoduché anténní soustavě.



Obr. 32. Antennní soustava ze dvou antén Mechanika; a) antény vedle sebe jsou napájeny aperiodicky, b) antény nad sebou jsou napájeny laděným napáječem



Obr. 33. Princip potlačení rušivého signálu antenní soustavou



Obr. 34. Čtyřčlenná antenní soustava

Způsob napájení

Již z předchozí kapitoly víme, že směrové vlastnosti antenních soustav jsou dány, směrovými vlastnostmi a počtem základních antén, jejich uspořádáním, napájením a vzájemnou vzdáleností. Obecně lze jednotlivé antény antenních soustav napájet v proudy s různou amplitudou a fází. V našem případě jde o antenní soustavu, jejichž antény jsou napájeny v proudy se stejnou amplitudou a fází. Jsou to tedy soufázové antenní soustavy.

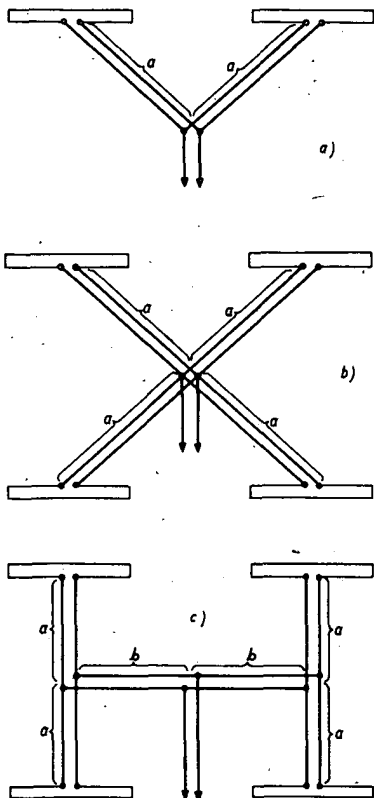
Fáze v proudů tekoucích do aktivních prvků – dipólů základních antén musí být naprosto stejná, aby směrový diagram antenní soustavy byl souměrný a aby jeho maximum bylo totožné s maximum směrového diagramu základních antén.

Rovněž amplituda v proudů, tekoucích do jednotlivých antén, musí být stejná, má-li se skutečný zisk antenní soustavy blížit maximálnímu možnému zisku. Každá základní anténa tedy musí vyzařovat nebo přijímat a dodávat na vstup přijímače stejný díl v energie.

Fáze v proudů zde určují: délka a způsob připojení napáječů („pólování“ napáječů) mezi jednotlivými anténami a společným napájecím místem, odkud je veden k vysílači či přijímači jediný napáječ. K napájení základních antén používáme napáječe laděné – rezonanční či neladěné – aperiodické. V určitých případech, zejména u složitějších soustav, je možné oba způsoby kombinovat. Délka neladěných napáječů může být libovolná. Elektrická délka napáječů laděných je v určitém vztahu k vlnové délce, zpravidla je sudým či lichým násobkem $\lambda/2$ středního pracovního kmitočtu antenní soustavy; v takovém případě hovoříme o vedení či napájení rezonančním.

Neladěné napájení

Úseky napáječů, kterými jsou jednotlivé antény připojeny ke společným napájecím místům, mohou mít libovolnou, ale navzájem zcela shodnou délku. Stejnolehlé poloviny aktivních prvků – dipólů jednotlivých antén musí být přítom (u soufázového napájení) ve společném napájecím místě navzájem spojeny. Schematicky je vyznačeno neladěné napájení dipólů jednotlivých antén jednoduchých antenních soustav na obr. 35. Jednotlivé antény jsou pro zjednodušení vyznačeny jako jednoduché skládané dipóly. Stejně označené úseky napáječů mohou mít libovolnou délku, navzájem však musí být úplně shodné. **Neladěné napájení je kmitočtové nezávislé, tzn., že zaručuje soufázové napájení základních antén v širokém kmitočtovém pásmu.** Musí jej být



Obr. 35. Neladěné (aperiodické) napájení anténních soustav; a) dvoučlenná soustava, b) čtyřčlenná soustava, c) čtyřčlenná soustava s postupně připojovanými dvojicemi

proto vždy použito při napájení širokopásmových anténních soustav, tj. soustav složených z jednotlivých širokopásmových antén, např. TV antén pro celé pásmo.

Impedance neladěných napáječů musí být shodná s impedancí jednotlivých antén soustavy. Mají-li antény na obr. 35a impedanci 300 Ω , musí být úseky *a* z napáječe o charakteristické impedanci 300 Ω . Pokud se použijí k napájení jednotlivých antén soustavy souosé kabely o impedanci 75 Ω , je nutné zařadit mezi kabel a anténní svorky symetrizační a transformační obvod.

Paralelním spojením dvou antén o impedanci 300 Ω dostáváme ve společném napájecím místě impedanci celé soustavy, která je v takovém případě 150 Ω , popř. 37,5 Ω při napájení souosým kabelem (dvakrát 75 Ω paralelně). Pokud nemají na napáječi celé soustavy vzniknout stojaté vlny (ČSV = 2), je třeba opět respektovat hledisko impedančního přizpůsobení. (ČSV = 2 však není taková velikost činitele stojatých vln, která by na napáječích TV antén zhoršila kvalitu obrazu patrným způsobem. Ztráty nepřizpůsobením jsou v tomto případě asi 0,5 dB).

Čtyři paralelně spojené antény 300 Ω podle obr. 35b naproti tomu umožňují použít souosé napájení 75 Ω celé soustavy přímo, jen se symetrizačním členem.

Anténní soustava s postupně připojovanými dvojicemi základních antén podle obr. 35c má být opatřena těmito napáječi: úseky *a* – 300 Ω , *b* – 150 Ω , napáječ celé soustavy – 75 Ω . Podobným způsobem je nutné postupovat při napájení jiných, složitějších soustav, mají-li být základní antény napájeny neladěnými napáječi.

Realizace neladěného napájení amatérskými prostředky je někdy nesnadná pro potíže s opatřováním, případně výro-

bou napáječů s požadovanou impedancí. V těch případech lze s výhodou používat napájení laděné – rezonanční.

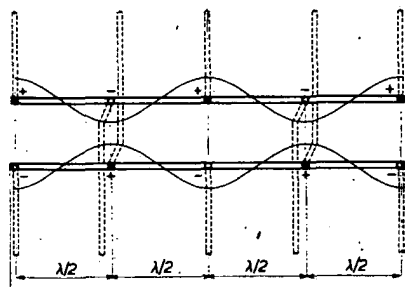
Laděné napájení

Úseky napáječů, jimiž jsou jednotlivé antény soustavy připojeny ke společnému napájecímu místu, nebo jimiž jsou propojeny navzájem, musí mít určitou elektrickou délku, která je v určitém vztahu ke střednímu kmitočtu pracovního pásma soustavy. Zpravidla bývá tato délka lichým nebo sudým násobkem poloviny vlnové délky středního kmitočtu. V takových případech hovoříme o rezonančních napáječích. Úseky napáječů mezi jednotlivými anténami soustavy nemusí mít stejnou délku, rozdíl délek však musí být opět sudým nebo lichým násobkem poloviny vlnové délky $\lambda/2$. Musí být opět splněna podmínka soufázového napájení jednotlivých antén soustavy. Antény jsou napájeny soufázově, pokud jsou stejnohlé poloviny aktivních prvků spojeny napáječi o délce, která je sudým násobkem $\lambda/2$, popř. celistvým násobkem λ (1 λ , 2 λ , 3 λ apod.). Pokud je z konstrukčních důvodů výhodnější použít k propojení jednotlivých antén napáječe, jejichž délky jsou lichým násobkem $\lambda/2$ (0,5 λ , 1,5 λ , 2,5 λ apod.), je nutno napáječ této délky překřížit, tj. spojit protilehlé konce aktivních prvků, aby byla splněna podmínka soufázového napájení.

Vysvětlení je patrné z obr. 36, na němž je schematicky naznačen okamžitý průběh fáze na souměrném rezonančním vedení. Fáze se mění o 180° (z „+“ do „-“) během každé půlvin. Aby tedy byla splněna podmínka soufázového napájení, musí být stejnohlé poloviny aktivních prvků připojeny k napáječi v místech stejné fáze (stejně „polarity“ v daném okamžiku). Jsou-li úseky napáječů mezi jednotlivými anténami celistvým násobkem vlnové délky, připojujeme aktivní prvky (dipóly) přímo. Jsou-li lichým násobkem půlvin, připojujeme se střídavě na protilehlé vodiče, popř. zkříženými úseky napáječů spojujeme protilehlé poloviny aktivních prvků.

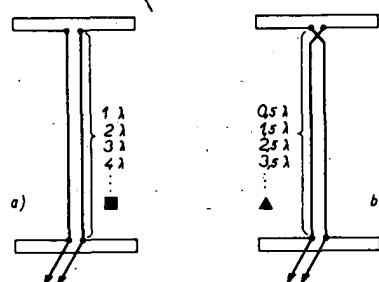
Rezonančních napáječů lze s výhodou využít u patrových anténních soustav, tj. u antén, řazených nad sebou. Rezonančními napáječi lze jednotlivé antény průběžně propojit a společný napáječ připojit např. ke spodní krajní anténě, případně ke kterékoli jiné. Celé napájení se tím značně zjednoduší v porovnání s neladěným napájením téže soustavy.

U rezonančních napáječů nezáleží na jejich impedanci, tzn. že charakteristická impedance takových napáječů nemusí odpovídat impedanci jednotlivých antén soustavy, což je z hlediska konstrukce amatérsky zhotovovaných anténních soustav značné zjednodušení. Využívá se zde vlastnosti vedení, jehož elektrická

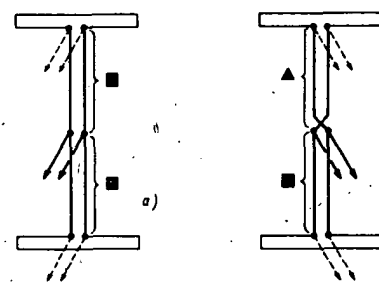


Obr. 36. Okamžitý průběh fáze na souměrném rezonančním vedení

délka je celistvým násobkem $\lambda/2$. Vedení této délky transformuje impedanci v poměru 1:1 bez ohledu na vlastní charakteristickou impedanci. Prakticky to znamená, že např. na začátku napáječe 600 Ω délky 0,5 λ , 1 λ , 1,5 λ , 2 λ atd. připojeného k anténě o impedanci 300 Ω je opět 300 Ω . Žádné ztráty odrazem v takovém případě nevznikají. Společný napáječ celé anténní soustavy (pokud není sám rezonanční) však musí svou impedanci respektovat výslednou impedanci celé soustavy v místě svého připojení, kam rezonanční napáječe přetransformují impedance paralelně pospojovaných jednotlivých antén.



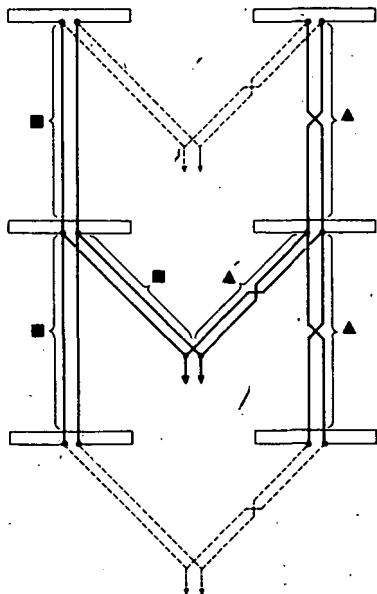
Obr. 37. Rezonanční napájení jednoduché anténní soustavy



Obr. 38. Rezonanční napájení jednoduché anténní soustavy

Na obr. 37 až 39 jsou některé případy použití rezonančního napájení jednoduchých anténních soustav. Obr. 37 ukazuje rezonanční napájení jednoduché anténní soustavy, složené ze dvou antén nad sebou. Pro zjednodušení jsou opět místo celých antén vyznačeny jen jejich aktivní prvky. Společný napáječ je připojen k jedné z obou základních antén. Na obr. 37a jsou obě antény spojeny napáječi délky 1 λ , 2 λ , 3 λ atd. Navzájem jsou tedy propojeny stejnohlé poloviny aktivních prvků. Vpravo na obr. 37b jsou antény propojeny napáječi délky 0,5 λ , 1,5 λ , 2,5 λ atd. Překřížením napáječe jsou zde navzájem spojeny protilehlé poloviny aktivních prvků, aby byla splněna podmínka soufázového napájení.

Pokud je rezonanční napáječ, spojující obě antény, dlouhý 2 λ , 4 λ , 8 λ atd., lze společný napáječ připojit nejen u kterékoli z antén soustavy, ale i uprostřed, jak je vidět na obr. 38 vlevo. Pravá část obr. 38 znázorňuje připojení společného napáječe mimo střed rezonančního úseku napáječe, spojujícího obě antény soustavy, pokud je jeho délka 1,5 λ , 2,5 λ , 3,5 λ atd. V takovém případě jej lze připojit též ke kterékoli z obou antén.



Obr. 39. Rezonanční napájení větší anténní soustavy

Na obr. 39 je schéma rezonančního napájení větší anténní soustavy, složené ze dvou trojic antén vedle sebe. V pravé polovině soustavy jsou délky napáječů lichým násobkem $\lambda/2$, v levé sudým násobkem $\lambda/2$. I když se v praxi naznačeného způsobu neužívá, je z hlediska fáze napájení celé soustavy v pořádku.

Na předchozích obrázcích je překřížení rezonančních napáječů kresleno v různých místech. Z elektrického hlediska to není na závadu. Prakticky však souměrně laděné vedení přetáčíme na jistém úseku vedení, nejčastěji po celé délce úseku mezi napájecími body.

Laděné napájení je kmitočtově závislé, nezaručuje soufázové napájení v širokém kmitočtovém pásmu. Kmitočtová závislost se zmenšuje se zmenšující se charakteristickou impedancí rezonančních napáječů. Laděného napájení tedy nevyužíváme u širokopásmových soustav, určených pro příjem celých pásem.

Je třeba zdůraznit, že zatím hovoříme jen o elektrické délce napáječů a nikoli o vzdálenostech mezi jednotlivými anténami, které se nemusí s délkou napáječů vůbec shodovat. Mohou být i podstatně menší. To je vlastně vždycky, když je napáječem vedení s dielektrikem ($\epsilon > 1$), jehož skutečná délka je vždy menší než délka elektrická. Pouze délka vzdušného vedení bývá téměř totožná se vzdáleností jednotlivých antén soustavy.

Jak již bylo řečeno, je třeba při sestavování anténních soustav respektovat hlediska fázová i impedanční. Impedance celé soustavy je dána paralelním spojením impedancí základních antén. Jejich impedance se však v závislosti na vzájemné vzdálenosti mění. Změna velikosti impedance je tím větší, čím těsnější je vzájemná vazba jednotlivých antén soustavy, tj. čím jsou antény blíže u sebe. Pokud je však jejich vzájemná vzdálenost větší než λ , je změna původní impedance poměrně malá, takže při stanovení impedance celé soustavy prakticky počítáme s původní impedancí jednotlivých antén soustavy.

Dosud uvedené poznatky o anténních soustavách je možno shrnout takto:

Anténními soustavami řešíme požadavek na větší zisk antény v místech slabého signálu, nebo otázku nerušeného příjmu TV v místech, v nichž je příjem znehodnocen odrazy či jiným rušením, dopadajícím na anténu ze směru jen málo odlišného od směru žádaného. Směrové vlastnosti anténních soustav jsou dány směrovými vlastnostmi jednotlivých antén soustavy, jejich počtem, uspořádáním, způsobem napájení a vzájemnou vzdáleností.

Zisk anténní soustavy se přímo úměrně zvětšuje s rostoucím počtem antén v soustavě. Každým dalším zdvojením anténní soustavy se zvětší zisk – v optimálním případě téměř o 3 dB. Maximálně použitelný počet antén v soustavě je zpravidla omezen především konstrukčně, mechanickými hledisky a dále rozložením elektromagnetického pole (jeho homogenitou) v místě antény (viz další část článku).

Při napájení jednotlivých antén soustav je třeba respektovat impedanční i fázové poměry tak, aby antény byly napájeny v proudy se stejnou amplitudou a fází. K napájení jednotlivých antén soustav používáme buď napáječe aperiodické – neladěné, nebo napáječe rezonanční – laděné. Délky rezonančních napáječů jsou zpravidla sudým nebo lichým násobkem poloviny vlnové délky středního pracovního kmitočtu anténní soustavy. Použitím rezonančních napáječů lze amatérsky realizovat i složitější anténní soustavy.

Vzájemná vzdálenost jednotlivých antén v soustavě a její vliv na směrové vlastnosti anténní soustavy

Při dodržení výše uvedených zásad je konečný tvar směrového diagramu a tím i zisk soustavy rozhodujícím způsobem ovlivněn vzájemnou vzdáleností jednotlivých antén. Výsledný tvar směrového diagramu soustavy, popř. nejhodnější vzdálenost k dosažení maximálního zisku lze stanovit výpočtem, známe-li směrový diagram jednotlivých antén v rovině, v níž je chceme řadit do soustav. Potřebná odvození i postup při numerickém výpočtu jsou složitější a vymykají se z rámce tohoto článku. Zájemci si najdou potřebné informace v příslušné literatuře [5], [38], [39], [40]. Zde si vysvětlíme jen princip a jednoduchou grafickou metodu, kterou lze použít při stanovení diagramu jednoduchých soustav, které přicházejí v úvahu při amatérské realizaci. Pro snazší pochopení principu uveďme nejprve opět praktický příklad, který ostatně můžeme ověřit i pokusem.

Mějme nejjednodušší anténní soustavu, složenou ze dvou antén, např. ze dvou TV přijímacích antén na III. pásmu (typ 12Y 1,8-0,92). Abychom mohli vliv jejich vzájemné vzdálenosti prakticky a snadno sledovat, musíme antény umístit vedle sebe, takže ovlivníme tvar diagramu v rovině, v níž můžeme soustavou otáčet kolem svislého stožáru. Jak se nyní bude

měnit směrový diagram se změnou vzdálenosti obou antén v porovnání se směrovým diagramem antény jediné?

Jsou-li antény těsně u sebe (což lze v tomto případě realizovat jen u antén polarizovaných vertikálně), jsou směrové vlastnosti takové soustavy téměř shodné se směrovými vlastnostmi jediné antény.

Při postupném zvětšování vzdálenosti mezi oběma anténami se začíná zužovat hlavní lalok, tj. zmenšuje se jak úhel příjmu, tak úroveň původních postranních laloků (pokud ovšem antény, z nichž je soustava složena, nějaké měly). Směrové vlastnosti se tedy zlepšují. Vzdalujeme-li vzájemně obě antény, zmenšuje se dále úhel příjmu, a po stranách hlavního laloku, odděleny ostrými a hlubokými minimy, se tvoří dva nové postranní laloky, zatímco původní postranní laloky, které zůstávají na svém místě (v původním směru), se opět přechodně zvětšují na původní úroveň. Nové postranní laloky se při dalším zvětšování vzájemné vzdálenosti antén rychle zvětšují, až jsou prakticky stejně velké jako lalok hlavní (viz též obr. 42).

Maximální zisk pak má soustava při takové vzájemné vzdálenosti základních antén, kdy je úroveň těchto nových postranních laloků asi o 10 dB menší, než maximum laloku hlavního (0,316 maximálního napětí). Při větší vzájemné vzdálenosti antén se sice hlavní lalok zužuje dále, ale zisk soustavy se již zmenšuje v důsledku velmi rychle se zvětšujících postranních laloků.

Změna vzdálenosti mezi anténami soustavy však nemá vliv na velikost činitele zpětného příjmu ve směru 180° . Mění se jen charakter (členitost) zadního laloku.

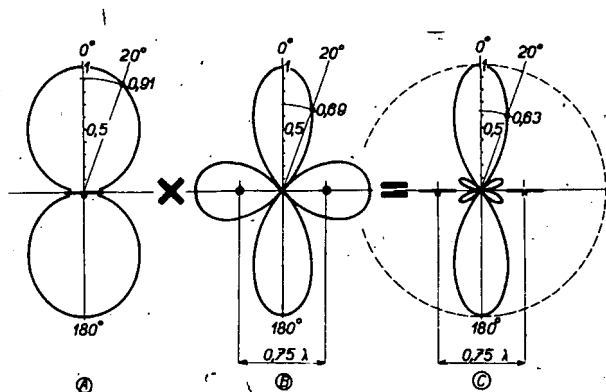
Výpočet směrového diagramu anténní soustavy

Při výpočtu směrového diagramu dané anténní soustavy vycházíme ze směrového diagramu řady všesměrových zářičů (tzv. izotropních zářičů), napájených stejným způsobem (tj. v našem případě – se stejnou amplitudou a fází). Jde o směrový diagram řady zářičů, který má tolik členů, kolik jednotlivých antén má sestavovaná anténní soustava v jedné rovině řazení.

Výsledný směrový diagram celé soustavy je pak dán součinem směrových funkcí diagramu jedné antény s výslednou směrovou funkcí řady tolika všesměrových zářičů, z kolika antén se celá anténní soustava skládá. Všesměrové zářiče při tom uvažujeme ve vzdálenostech shodných se vzájemnými vzdálenostmi jednotlivých antén soustavy.

Formulace předchozího odstavce je snad trochu neobvyklá či složitá, ale jistě není nesrozumitelná. Populárněji řečeno – výsledný směrový diagram anténní soustavy získáme, když směrový diagram základní antény „vynásobíme“ směrovým diagramem anténní soustavy, složené z tolika „všesměrových antén“, z kolika jednotlivých antén se naše anténní soustava skládá. Toto „násobení“ diagramů je schematicky znázorněno na obr. 40, kde A je směrový diagram základní antény soustavy, v tomto případě dipólu $\lambda/2$, B je směrový diagram dvojice všesměrových zářičů; C je pak výsledný diagram dvoučlenné soustavy, sestavené v tomto případě (tj. na obr. 40) ze dvou dipólů $\lambda/2$, umístěných vedle sebe ve vzdálenosti $0,75\lambda$ (vzdálenost středů). Navzájem násobíme údaje v obou diagramech (A a B), odpovídající stejnému směru (úhlu), což je na obr. 40 vyznačeno pro směr 20°

– Pro vnitřní trh rozšířit sortiment inovovaných výrobků spotřební elektrotechniky vysokými technickoekonomickými parametry, zejména barevných televizních přijímačů, magnetofonů, gramofonů, radiopřijímačů a dalších výrobků.



Obr. 40. Princip výpočtu směrového diagramu jednoduché anténní soustavy, sestavené ze dvou soufázově napájených dipólů $\lambda/2$, vzájemně vzdálených $0,75\lambda$

a v tab. 4 vždy po 10° pro úhly 0° až 90° . A protože diagramy jsou souměrné podle vodorovné i svislé osy, stačí údaje vypočtené pro úhly 0° až 90° k zakreslení úplného směrového diagramu této anténní soustavy.

Tab. 4.

Úhel (směr)	A × B	C
0°	$1,00 \times 1,00$	1,00
10°	$0,98 \times 0,91$	0,89
20°	$0,91 \times 0,69$	0,63
30°	$0,82 \times 0,39$	0,32
40°	$0,69 \times 0,055$	0,038
50°	$0,56 \times 0,22$	0,12
60°	$0,42 \times 0,45$	0,19
70°	$0,28 \times 0,60$	0,17
80°	$0,14 \times 0,68$	0,095
90°	$0,00 \times 0,71$	0,00

Výsledný diagram dvojice dipólů $\lambda/2$, umístěných vedle sebe ve vzájemné vzdálenosti $0,75\lambda$ má, jak je patrné, již poměrně výrazné směrové účinky – ovšem jen v rovině řazení. V rovině kolmé (rovině H) zůstává diagram všesměrový, jak je vyznačeno na obr. 40c (čárkovaně).

K výpočtu či sestavení směrového diagramu sestavené anténní soustavy tedy potřebujeme znát směrový diagram základní antény soustavy a směrový diagram odpovídající řady všesměrových zářičů. Protože v běžné praxi obvykle vystačíme se dvěma anténami vedle sebe (ve vodorovné rovině) a dvěma až čtyřmi anténami nad sebou (ve svislé rovině), jsou pro takové anténní soustavy úplné směrové diagramy dvojic všesměrových zářičů vypočteny a znázorněny na obr. 41a až 41g a pro přesný výpočet na obr. 43. Jsou vypočteny pro vzájemné vzdálenosti $S = 0$ (tj. vlastně diagram jediného všesměrového zářiče); $S = 0,25\lambda$; $0,5\lambda$; $0,75\lambda$; 1λ ; $1,5\lambda$ a 2λ . Jako praktický příklad jsou pak na obr. 42a až 42g znázorněny směrové diagramy jednoduché anténní soustavy, sestavené ze dvou horizontálně polarizovaných dvanáctiprvkových TV přijímacích antén na III. pásmo a pro kmitočet 199,25 MHz (anténa – typ 12Y 1,8-0,92 na kmitočtu $f = 0,97 f_{\max}$), umístěných vedle sebe (ve vodorovné rovině). Směrové diagramy této soustavy jsou stanoveny pro stejné vzdálenosti jako u dvojice zářičů všesměrových na obr. 41, tj. pro $S_e = 0$ (což je vlastně směrový diagram základní antény soustavy); $0,25\lambda$; $0,5\lambda$; $0,75\lambda$; 1λ ; $1,5\lambda$; 2λ . Byly vypočteny „násobením“ směrových diagramů základní antény soustavy (obráz. 42a) s diagramy dvojic všesměrových zářičů v uvedených vzdálenostech (obráz. 41).

Názorné výsledky, které vyplývají z grafických znázornění na obr. 41 a 42, jsou jistě dosti instruktivní a nepotřebují detailního vysvětlení.

Maximální zisk má tato anténní soustava při vzájemné vzdálenosti dílčích antén $S_e = 1,5\lambda$. Již z toho je vidět, že optimální vzájemná vzdálenost základních antén musí být tím větší, čím užší je hlavní lalok základní antény soustavy, popř. čím má tato anténa větší zisk, čili čím je anténa delší (pokud jde o Yagiho anténu). Z poměrně členitého směrového diagramu řady (v našem případě dvoučlenné), totiž využíváme „k násobení“ především jen toho laloku, jehož směr se shoduje se směrem hlavního laloku základní antény (tj. pro směr 0°). Ostatní laloky této řady jen ovlivňují charakter (členitost) diagramu základní antény v ostatních směrech. Abychom tedy dosáhli maximálního zisku, tzn. aby se hlavní lalok anténní soustavy zúžil zhruba na polovinu a vedle něho vznikly dva nové postranní laloky (-10 dB), musí být vzájemná vzdálenost jednotlivých antén soustavy tak velká, aby „hlavní lalok“ odpovídající řady všesměrových zářičů byl ještě užší než hlavní lalok základní antény soustavy, popř. aby jeho minima ležela blíže směru 0° , než leží minima základní antény soustavy. Za takových podmínek se pak musí z původního diagramu základní antény oddělit dva nové postranní laloky. Poloha (směr) oddělujících minim diagramu anténní soustavy je totožná s polohou minim odpovídající řady všesměrových zářičů. Je to jistě pochopitelné, protože pro úhel (směr), v němž leží minima této řady (v našem případě dvojice) všesměrových zářičů, násobíme příslušný údaj směrového diagramu základní antény nulou, takže výsledkem je opět nula, čili minimum ve výsledném diagramu soustavy. Znamená to tedy také, že na polohu těchto nových minim (odpovídajících nulám příslušné řady všesměrových zářičů) nemá diagram základní antény soustavy vůbec vliv. Objeví se v diagramu naší dvoučlenné soustavy právě tak, jako v diagramu dvoučlenné soustavy jiné, např. sestavené jen z dipólů $\lambda/2$. (Pro $S_e = 0,75$ je to možno ostatně porovnat na obr. 40c).

K příkladu na obr. 42 je třeba ještě dodat, že horizontální směrové diagramy pro dvojice horizontálně polarizovaných TV antén vedle sebe a pro $S_e = 0,25$ až $0,5\lambda$ nelze v praxi dost dobře naměřit vzhledem k tomu, že při této vzdálenosti (je to vzdálenost středů antén, popř. vzdálenost os nosných ráhén), by se překrývaly nebo dotýkaly konce prvků. Kdyby však šlo o antény polarizované vertikálně, nečinilo by změnění diagramu pro $S_e = 0,25$ až $0,5\lambda$ potíže.

V obr. 42 nejsou také zakresleny zadní laloky (mezi 90° až 270°). Jsou totiž potlačeny o více než 23 dB. Změna jejich členitosti se změnou vzdálenosti dílčích antén proto nemá praktický vliv na zisk anténní soustavy a jejich znázornění na obrázcích by bylo málo zřetelné.

Na první pohled je vidět značný rozdíl ve směrovosti této soustavy pro $S_e = 1,5\lambda$ (obráz. 42f) v porovnání se směrovostí základní antény soustavy (obráz. 42a). Tento rozdíl se ovšem objevuje jen v rovině řazení, zatímco v rovině kolmé zůstává původní tvar směrového diagramu základní antény zachován (je na obr. 42f pro informaci též zakreslen čárkovaně). Teprve další dvojici stejných antén, zařazenou ve svislé rovině, by bylo možno ovlivnit původní směrový diagram v této rovině podobným způsobem, jako v případě dvou antén vedle sebe. Potřebná optimální vzájemná vzdálenost (S_h) této dvojice nad původní dvojici by však byla poněkud menší, protože ve svislé rovině je diagram (úhel příjmu) jedné Yagiho antény poněkud širší, než v rovině vodorovné. O tom však podrobněji až v další kapitole, při praktickém určování rozměrů anténních soustav.

Podíváme-li se nyní na průběh zisku v závislosti na vzájemné vzdálenosti obou základních antén soustavy (obráz. 43) vidíme, že pro dosažení maximálního zisku je třeba: v našem případě volit vzdálenost kolem $1,5\lambda$. Z obr. 43 je též patrné, že v oblasti maximálního zisku není již průběh zisku příliš kritický. Zisk se z maxima zmenší o 0,5 dB (v našem případě) pro vzdálenosti $S_e = 1,1\lambda$ popř. $1,8\lambda$. Při vzdálenosti $S_e = 1,8\lambda$ jsou však již poměrně výrazné postranní laloky, což je zpravidla nepříjemné.

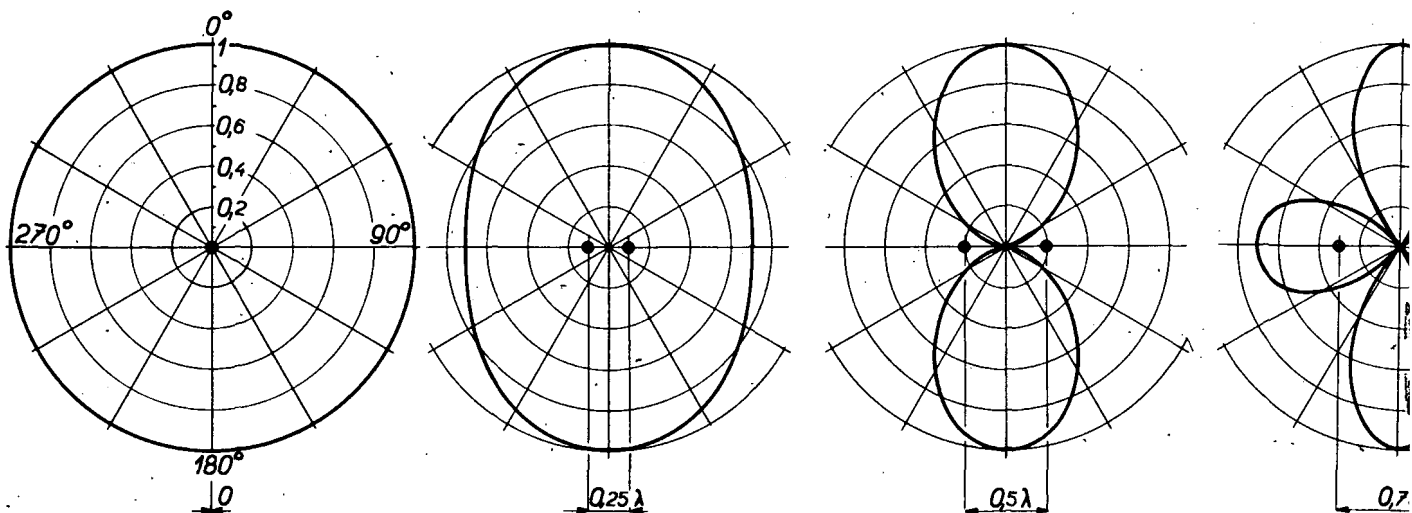
Je třeba ještě upozornit na to, že směrové diagramy na obr. 42a až 42g jsou ve vzájemném vztahu, pokud jde o vlastní tvar směrového diagramu. Kdyby však měly svými amplitudami napětí respektovat skutečný zisk, popř. přírůstek zisku v porovnání se základní anténou soustavy (s maximem 1,0 ve směru 0°), bylo by nutné násobit amplitudy diagramů ve všech směrech součinitelem, odpovídajícím přírůstku zisku této soustavy pro tu kterou vzájemnou vzdálenost dílčích antén (tab. 5).

Tab. 5.

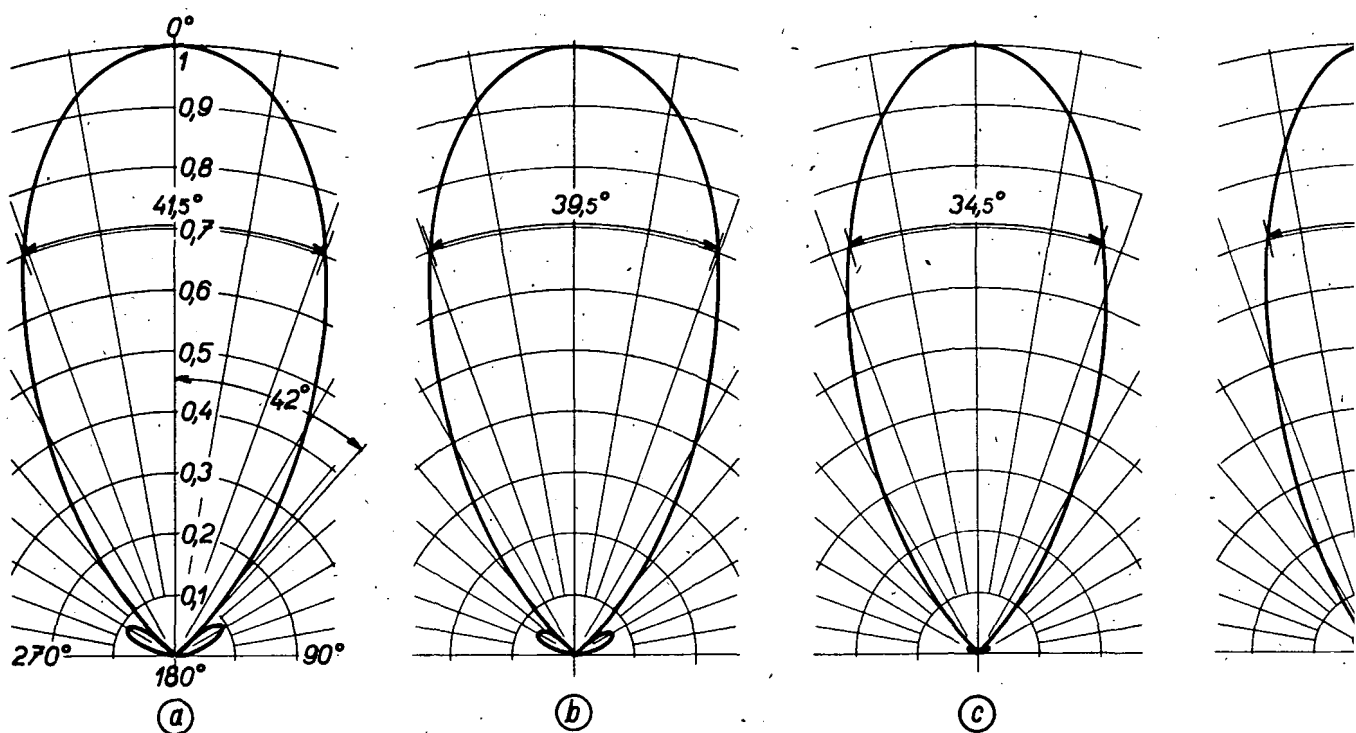
Pro S_e	je přírůstek a	součinitel
0	0, dB	1,0
$0,25\lambda$	0,2 dB	1,023
$0,5\lambda$	0,7 dB	1,083
$0,75\lambda$	1,4 dB	1,175
$1,0\lambda$	2,1 dB	1,274
$2,0\lambda$	1,8 dB	1,230

Údaje ovšem platí jen pro uvedenou anténní soustavu na daném kmitočtu, případně pro anténní soustavu složenou z takových základních antén, jejichž směrové vlastnosti jsou shodné se směrovými vlastnostmi TV přijímací antény typu 12Y 1,8-0,92.

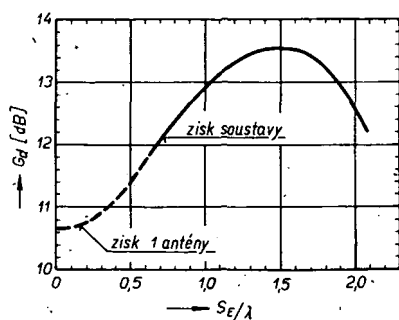
Podobně by bylo nutno upravit i diagram na obr. 40c, v němž by maximum soustavy mělo mít velikost 1,38, protože proti základní anténě – dipólu $\lambda/2$ – jde o přírůstek 2,8 dB. V tomto případě jde ovšem o skutečný zisk, protože základní anténou je dipól $\lambda/2$, který je, jak víme, referenční anténou při praktickém udávání zisku.



Obr. 41. Směrové diagramy dvojic všesměrových zářičů, soufázově



Obr. 42. Směrové diagramy dvoučlenných anténních soustav, sestavených ze dvou soufázově napájených TV přijímacích antén (typ 12Y 1,8–0,92), umístěných vedle sebe, pro $S_E = 0; 0,25\lambda; 0,5\lambda; 0,75\lambda; 1\lambda; 1,5\lambda$ a 2λ

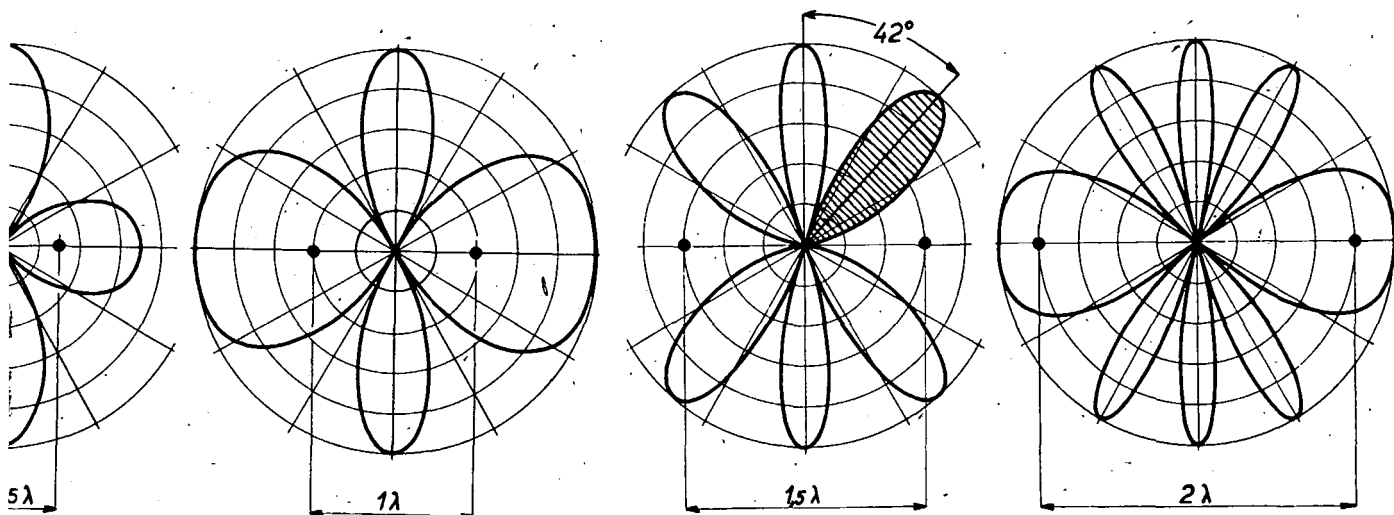


Obr. 43. Křivka zisku dvojice antén podle obr. 42 pro různé vzdálenosti S_E

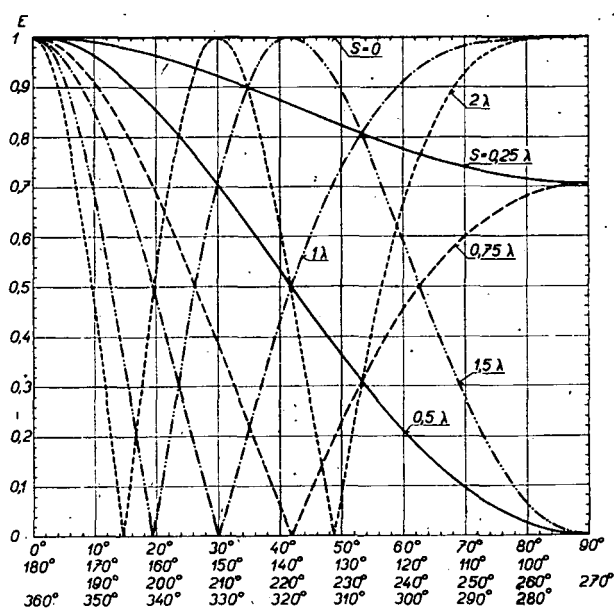
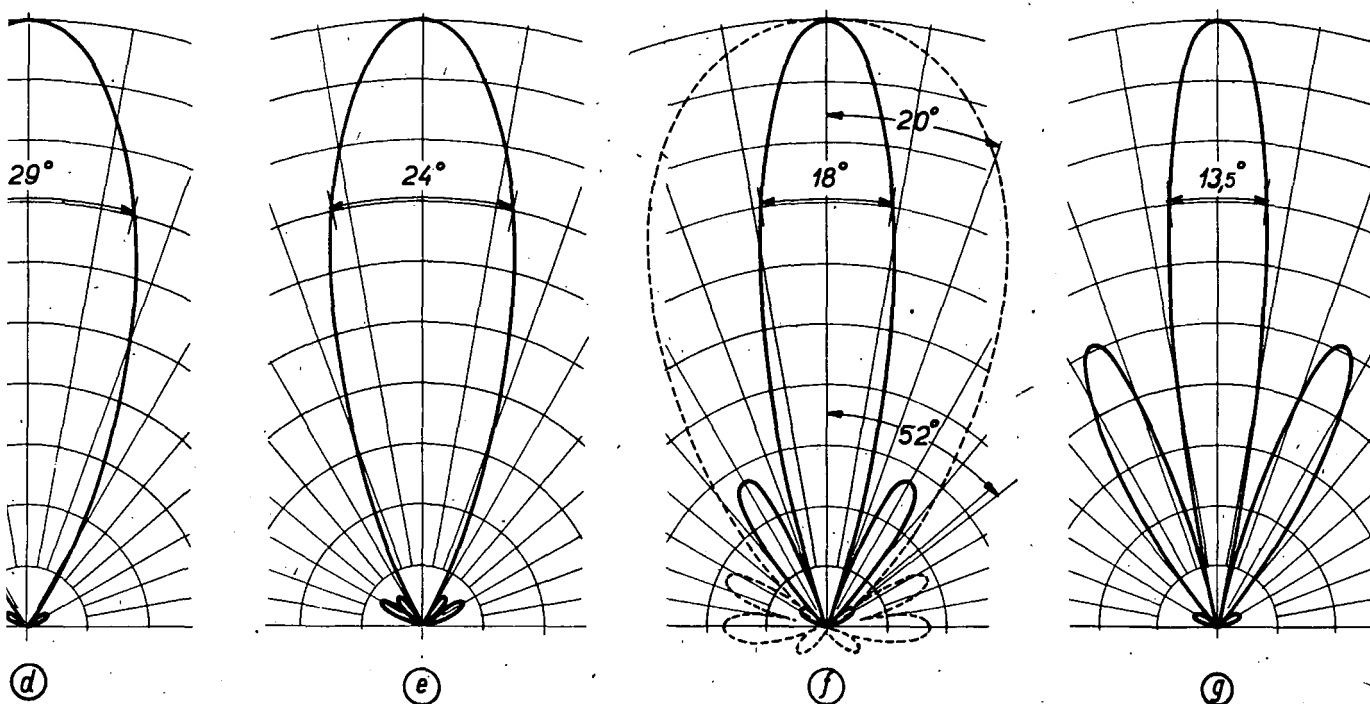
Pro přesný výpočet tvaru směrových diagramů dvoučlenných anténních soustav, jejichž jednotlivé antény jsou napájeny se stejnou amplitudou a fází, jsou příslušné údaje směrových funkcí nakresleny na obr. 44. Protože jde o směrové diagramy souměrné kolem svislé (0° až 180°) a vodorovné (90° až 270°) osy, postačí průběhy mezi 0° až 90° pro určení celého diagramu. Pomocí tohoto diagramu tedy můžeme určit tvar směrového diagramu až čtyřčlenných (dvě dvojice nad sebou) anténních soustav. Pro výpočet vícečlenných anténních soustav (více než dvoučlenných v jedné rovině záření) je nutno velikosti směrových funkcí odpovídající řady všesměrových zářičů vypočítat podle informací, uvedených v [5], [38], [39], [40]. Ovšem u čtyřčlenných soustav (tentokrát miněny čtyři jednotlivé antény v jedné rovině) lze postupovat též tak, že nejdříve vypočteme směrový dia-

gram dvoučlenné anténní soustavy, kterou budeme v dalším považovat za jednu ze dvou základních „antén“ soustavy, a opakovaným postupem dojdeme k výslednému diagramu celé čtyřčlenné soustavy. Vzájemná vzdálenost je potom ovšem vzdálenost mezi středy obou dvojic základních antén soustavy. Stejným způsobem je pochopitelně možné postupovat i při jiných složitějších anténních soustavách.

Obr. 44. Směrové diagramy dvojice soufázově napájených všesměrových zářičů podle obr. 41, použitelné k výpočtu směrového diagramu jednoduchých anténních soustav



ě napájených, pro $S = 0; 0,25\lambda; 0,5\lambda; 0,75\lambda; 1\lambda; 1,5\lambda; 2\lambda$



POZOR!

V letošním ročníku AR řady B se mění proti loňskému roku data vycházení jednotlivých čísel takto:

AR řady B č. 1 vyjde podle harmonogramu výroby

č. 2	20. 1.,
č. 3	17. 3.,
č. 4	26. 5.,
č. 5	21. 7.,
č. 6	15. 9.,
	24. 11.

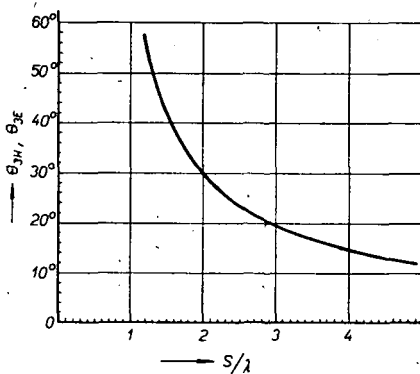
Číslo budou věnována zajímavým a praktickým zapojením (č. 2), operačním zesilovačům, mikroprocesorům a co s nimi, spínaným stabilizovaným zdrojům atd.)

Redakce

Stanovení rozměrů anténních soustav

Pokud je při konstrukci anténní soustavy v úvahu hlediskem maximální zisk, pak nás v běžné praxi úplně tvar směrového diagramu zajímá až v druhé řadě. Jde nám především o stanovení optimálních rozměrů, tj. o určení vzájemných vzdáleností jednotlivých antén soustavy s ohledem na maximální zisk anténní soustavy. V takových případech lze rozměr soustavy, popř. tyto vzdálenosti určit s dostatečnou přesností z charakteru směrového diagramu základní antény, tj. z polohy (směru) minim přiléhajících k hlavnímu laloku, nebo ze šířky hlavního laloku – čili z velikosti úhlu příjmu. Tyto základní parametry směrové antény by měl ostatně každý popis obsahovat. Zhruba lze vzájemnou vzdálenost základních antén soustavy určit i z jejich rozměrů (u Yagiho antény z její celkové délky).

Na obr. 45 je vyjádřen vztah mezi optimální vzájemnou vzdáleností Yagiho antén v anténní soustavě v závislosti na poloze (směru) prvního minima základní antény soustavy. Vychází se zde z poznat-



Obr. 45. Optimální vzdálenost S dvou antén tvořících soustavu v závislosti na úhlu příjmu – záření (Θ_3), popř. na úhlu (směru) prvního minima jedné z antén soustavy. (Předpokládá se úhel příjmu nebo úhel prvního minima v rovině řazení)

ku, že optimální vzájemná vzdálenost jednotlivých antén soustavy je rovna vzájemné vzdálenosti odpovídající řady všesměrových zářičů, při níž se shoduje směr (úhel) maxima prvního postranního laloku (na obr. 41f je tento postranní lalok vyšrafován) směrového diagramu této řady všesměrových zářičů se směrem (úhlem) prvního minima směrového diagramu základní antény soustavy. Čím má tedy základní anténa soustavy užší hlavní lalok, tím blíže směru 0° leží tato oddělující minima a tím větší musí být vzájemná vzdálenost jednotlivých antén, aby bylo dosaženo maximálně možného zisku. Nově vzniklé postranní laloky u takto navržené anténní soustavy jsou potlačeny zhruba o 10 dB proti laloku hlavnímu.

Ze směrového diagramu TV přijímací antény na obr. 41a lze pro směr prvního minima přečíst úhel 42° . Směru 42° pak na obr. 45 odpovídá optimální vzdálenost $1,5 \lambda$, což je vzdálenost dvou horizontálně polarizovaných antén vedle sebe. Vycházeli jsme totiž z horizontálního diagramu základní antény, popř. z diagramu v rovině prvků (rovina E).

Na obr. 41f je čárkováně zakreslen směrový diagram stejné antény v rovině vertikální, tj. v rovině kolmé na rovinu prvků (rovina H). První minimum je zde odchýleno od směru 0° o 52° . Z obr. 45 přečteme pro 52° optimální vzdálenost mezi horizontálně polarizovanými anténami nad sebou $1,25 \lambda$ (tj. řazenými v rovině vertikální). Potřebná optimální vzdálenost je tedy o něco menší než v případě předchozím. Souvisí to se zákonitou vlastností Yagiho antény, jejíž směrový diagram (úhel příjmu) v rovině prvků (rovina E) je vždy užší, než v rovině kolmé na rovinu prvků (rovina H). Rozdíl mezi úhly příjmu v obou rovinách je tím menší, čím je anténa delší. U antén delších než 4 až 5λ je možno prakticky považovat úhly v obou rovinách za shodné, tzn. že mohou být shodné vzdálenosti při řazení antén v obou rovinách.

V jakém vzájemném vztahu jsou úhly příjmu v obou rovinách u různých dlouhých Yagiho antén je vidět z obr. 11: Závislosti vyznačené dvěma křivkami platí s dostatečnou přesností jen pro „optimální“ Yagiho antény, tj. pro antény „naladěné“ na maximální zisk tak, že platí závislost zisku na délce Yagiho antény podle obr. 9. Případné odchylky mohou být způsobeny různými naladěnými direktorů, jímž lze (jak již víme) ovlivnit velikost postranních laloků. Při stejné délce antény a stejném zisku lze totiž např. postupným zkracováním direktorů zmenšit postranní laloky za cenu rozšíření laloku hlavního. Při tom však zatáhne anténa opatřená shodnými (stejně dlouhými) direktory může mít stejný zisk, avšak její směrový diagram je užší, zatímco její postranní laloky jsou „normální“, v průměru jen asi 10 dB pod úrovní laloku hlavního. Za těchto okolností má tedy závislost na obr. 11 spíše význam informativní. Vyznačené průběhy platí pro Yagiho antény se středně potlačenými postranními laloky, které se v praxi vyskytují nejčastěji. Zákonitý průběh směrového diagramu Yagiho antény, pracující v oblasti maximálního zisku, umožňuje stanovit s dostatečnou přesností optimální rozměry soustav, sestavené z takových antén, též z šířky hlavního laloku, tj. z velikosti úhlu příjmu. U Yagiho antény, pracující v kmitočtové oblasti maximálního zisku, je totiž první minimum odchýleno od směru 0° o úhel, rovnající se prakticky úhlu příjmu této antény. Proto lze použít vztah na obr. 11 i k určení optimální vzdálenosti mezi anténami, známe-li úhel příjmu základní antény soustavy. Velikosti úhlů na vísle stupnici tedy označují buď směr (úhel) prvního minima, nebo úhel příjmu základní antény soustavy. V praxi je výhodnější vycházet z úhlu, odpovídajícího směru prvního minima základní antény, který můžeme amatérskými prostředky určit snáze a přesněji, než úhel příjmu (Θ_3).

Vzhledem k vzájemné souvislosti mezi ziskem a délkou Yagiho antény, tzn. též mezi délkou a úhlem příjmu, lze zhruba odhadnout potřebnou vzdálenost základních antén soustavy i z celkové délky Yagiho antény. K informativnímu zjištění použijeme postupně grafy na obr. 10 (délka antény, úhel příjmu) a na obr. 45 (úhel příjmu, optimální vzájemná vzdálenost).

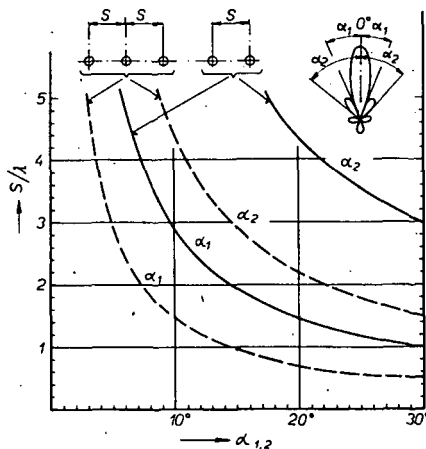
S ohledem na rychle se zvětšující postranní laloky při překročení optimální vzdálenosti S/λ je v praxi výhodnější volit vzájemnou vzdálenost dílčích antén poněkud menší (o 10 až 20 %), než jaká vychází podle křivky na obr. 45. Tomu odpovídající zmenšení zisku je ještě zanedbatelné, jak je ostatně patrné z obr. 43. Rozměry anténní soustavy, popř. vzájemné vzdálenosti jednotlivých antén soustavy, stanovené některým z výše uvede-

ných způsobů, platí jak pro dvoučlenné, tak i vícečlenné anténní soustavy. U vícečlenných anténních soustav jsou vzájemné vzdálenosti antén stejné a při jejich určení vycházíme opět ze známých parametrů základní antény podle uvedeného způsobu.

Ostatně se o tom můžeme přesvědčit na našem příkladě s TV anténami. Kdybychom chtěli dále zlepšit v horizontální rovině směrové účinky dvojice TV antén podle obr. 41f jejím dalším zdvojením, použijeme opět graf na obr. 43, odkud pro úhel 20° (to je směr prvního minima naší anténní soustavy podle obr. 41g) zjistíme, že optimální vzdálenost středu obou dvojic musí být 3λ , takže mezi všemi čtyřmi dílčími anténami je vzájemná vzdálenost stejná a rovná $1,5\lambda$.

Snažíme-li se anténní soustavou odstranit nebo zmenšit rušení, dopadající na anténu ze směru jen málo odlišného od směru k přijímané stanici (jak je to vysvětleno na str. 16), zajímá nás vzdálenost jednotlivých antén soustavy, pro kterou se v daném směru vytváří nula (minimum) ve směrovém diagramu soustavy. Úhel tohoto minima (α_1), měřený od směru maximálního příjmu (0°), je určen vzájemnou vzdáleností antén, popř. vzájemnou vzdáleností odpovídající řady všesměrových zářičů, jejíž směrovou funkcí se násobí směrový diagram základní antény.

Směr (úhel α_1) těchto minim (nul) je pro dvou až tříčlennou řadu (anténní soustavu) v závislosti na vzdálenosti S (S_E nebo S_H) určen grafem na obr. 46. Graf poskytuje výchozí informaci pro návrh anténní soustavy, potlačující rušení v rozsahu úhlů $\pm 3^\circ$ až $\pm 30^\circ$. Tak např. požadujeme-li



Obr. 46. Úhel (směr) prvních minim (nul) dvou a tříčlenné anténní soustavy pro různou vzdálenost S jednotlivých antén soustavy. Podle křivek lze navrhnout anténní soustavu potlačující rušení ze směrů $\pm 3^\circ$ až $\pm 30^\circ$.

nulu ve směru $\alpha_1 = 10^\circ$, použijeme dvojici libovolných antén ve vzájemné vzdálenosti $S_E = 2,88\lambda$, nebo trojici antén vzdálených navzájem $1,44\lambda$. Při současném požadavku na optimální zisk ve směru 0° musíme vhodně volit délku základní antény soustavy, tj. volit takovou anténu, pro níž je vzdálenost S zjištěná z grafu na obr. 46, optimální i z hlediska zisku.

Pomocí grafu na obr. 45 a pak na obr. 11 zjistíme, že dvoučlennou soustavu lze např. sestavit z antén, které mají při maximálním zisku úhel příjmu $\Theta_{3E} = 20^\circ$ a délku $L_c = 7\lambda$. Pro tříčlennou soustavu vybereme Yagiho antény, které mají $\Theta_{3E} = 43^\circ$ a $L_c = 1,6\lambda$. Z rozměrové tabulky

(tab. 2) by těmito požadavkům odpovídaly např. antény G a H; popřípadě i jiné typy antén s požadovaným úhlem Θ_{3E} . (Dosud uvedené zásady a principy pro sestavování anténních soustav platí obecně a nejsou tedy omezeny jen na Yagiho antény).

Pro úplnost upozorňujeme na jeden fakt, vyplývající názorně i z obr. 46. Směr minim není dán počtem soufázových napájených jednotlivých antén soustavy, ale celkovým rozměrem soustavy, který je v obou případech $2,88\lambda$. Požadovaný směr prvního minima $\alpha_1 = 10^\circ$ tedy získáme i řadou šesti dipólů $\lambda/2$ se vzdáleností středů

$$S_E = 0,576\lambda (5 \times 0,576 = 2,88\lambda).$$

Zisk takové antény by byl ovšem menší. Údaje zjištěné z obr. 46 pochopitelně platí i pro řazení antén nad sebou; konstruktivně jednodušší uspořádání několika antén nad sebou je možné využít k omezení místního rušení (průmyslové poruchy, zapalování apod.), které na přijímací anténu dopadá pod poměrně malým elevačním úhlem. Optimální „dosměrování“ antény v těchto případech někdy vyžaduje malý náklon nebo záklon stožáru.

Zmíněný způsob potlačení nežádancích signálů jednoduchou anténní soustavou je jedním z mnoha, které umožňuje realizovat tato nejednodušší soustava. **Charakter šíření velmi krátkých vln, a zvláště pak ve výškové členité a sídlištní zástavbě, vytváří často velmi komplikované, běžnými prostředky neřešitelné příjmové podmínky,** které znehodnocují nebo zcela znemožňují příjem barevného, ale i černobílého televizního signálu. **V řadě případů je však možné příjem zlepšit.** Nutným předpokladem je však především pečlivý průzkum příjmových podmínek v místě předpokládaného a možného umístění antén, a pak volba a realizace vhodné metody „odrušení“. Jde o práci časově velmi náročnou, vyžadující znalosti i zkušenosti. Zájemci najdou některá řešení „protiporuchového“ příjmu v obsáhlém článku [35].

Pokud se touto problematikou nebudou moci vážněji zabývat montážní organizace, zůstane odstranění nekalitního příjmu záležitostí iniciativních a dostatečně kvalifikovaných pracovníků amatérských; alespoň do té doby, než se dočkáme kabelových rozvodů nebo přímého družicového vysílání.

Praktické využívání anténních soustav

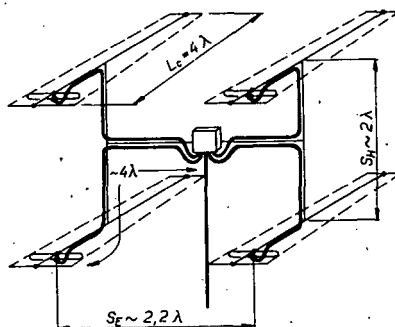
Z předchozí kapitoly víme, že se použitím anténních soustav snažíme vyřešit dva problémy: jednak zvětšit zisk a jednak potlačit nežádoucí odrazy či rušivé signály na kmitočtu přijímaného TV vysílání. Zatímco první aspekt, zvětšení zisku, se většinou přeceňuje, tak druhý, potlačení příjmů z nežádoucích směrů, se většinou nedoceňuje. Všimneme si nejprve prvního případu.

Víme, že optimálním uspořádáním dvou stejných antén můžeme teoreticky získat maximální přírůstek zisku 3 dB. Každé další zdvojení pak teoreticky přináší další zisk 3 dB. Předpokladem pro maximální přírůstek zisku však je:

- optimální vzájemná vzdálenost jednotlivých antén tvořících soustavu,
- dokonalé sfázování antén soustavy,
- bezeztrátové napájení jednotlivých antén soustavy a přizpůsobení celé soustavy,
- dostatečná homogenita přijímaného elektromagnetického pole v prostoru zájímáném anténní soustavou.

Problematická není optimální vzdálenost, která ostatně ani není příliš kritická. Rovněž soufázové napájení lze při shodnosti antén a pečlivé instalaci napáječů zaručit. **V praxi se však přehlíží vliv útlumu napáječů jednotlivých antén soustavy a homogenita pole v místě příjmu.**

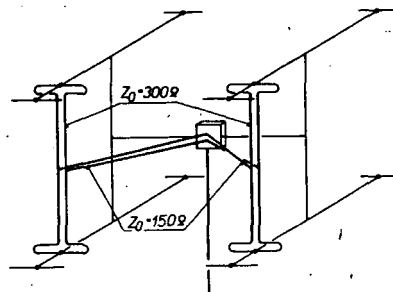
Útlum běžných napáječů je třeba brát v úvahu zejména na V. pásmu a jeho nejvyšších kanálech. Při napájení souosým kabelem se zpravidla používá typ s pěnovým dielektrikem VFKV 630, popř. VFKV 633 (nové označení VCCOY 75-5,6 a VCCOD 75-5,6, viz AR řady B, č. 6/1981). Na 750 MHz byl naměřen útlum 24 dB/100 m, tj. asi 0,25 dB na 1 m. Pro napájení jednotlivých antén soustavy složené ze čtyř antén typu 17Y 4,1 (anténa G) nebo 20Y 4 (anténa F) potřebujeme při jejich uspořádání podle obr. 47 kabel



Obr. 47. Napájení jednotlivých antén čtyřčlenné soustavy souosým kabelem. Většinou jde o napájení aperiodické

fyzikální délky 14 až 15λ, což na 750 MHz je asi 5,5 až 6 m. Jen útlumem kabelu se tedy redukuje maximální teoretický přírůstek zisku o 1,5 dB. K těmto ztrátám je třeba dále připočítat útlum symetrizačních členů, kterými musí být při tomto způsobu napájení každá anténa opatřena, plus další ztráta 0,5 dB, způsobená vzájemnou vazbou antén a jinými nekontrolovatelnými vlivy. Výhodou dobře provedeného souosého napájení jednotlivých antén soustavy je však jeho mechanická i klimatická odolnost a dlouhodobá stálost parametrů. Nevýhodou je potřeba symetrizace u každé antény a malá výstupní impedance v místě spojení napáječů ($75 : 4 = 18,75 \Omega$). Zpravidla se však do tohoto místa zapojuje anténní zesilovač, nebo filtr, jehož vstupní obvody lze impedance antény přizpůsobit. Řešením je i transformátor $\lambda/4$ ze dvou paralelních kabelů 75 Ω (impedance 37,5 Ω), který impedance 18,75 Ω beze ztrát přetransformuje znovu na žádanou, tj. 75 Ω. Nejde ovšem o transformaci širokopásmovou, což zpravidla nevádí, protože se při dálkovém příjmu či komunikaci soustředujeme obvykle na užší pásmo. Spojení jednotlivých antén 300 Ω soustavy souměrnými napáječi, dvoulinkami typu VFSP 510 (plochý typ) nebo VFSV 515 (oválný typ); nové označení PLE 300-S a PLCNE 300-5,6; je z hlediska ztrát útlumem poněkud výhodnější. Útlum napáječe VFSV 515 (oválný typ) je na 750 MHz 19 dB/100 m, není tedy o mnoho menší, než jaký má v předchozím uspořádání uvažovaný souosý kabel VFKV 630 s pěnovým dielektrikem. Délka souměrných napáječů však bývá kratší (nejkratší spojení antén). Odpadají jednotlivé symetrizační obvody u každé antény a výstupní impedance je žádaných 75 Ω. Převažují však nesnáze jiné. Útlum souměrných nestisněných na-

páječů je ovlivňován klimatickými vlivy krátkodobými (děšť, námraza) i dlouhodobými (trvalé zvětšení útlumu znečištěním povrchu). A dále – pokud se nevěnuje dostatečná pozornost mechanickému upevnění souměrných napáječů, jejich vodiče se po delší či kratší době přeruší (kmitáním) bez zjevného vnějšího poškození. Plochý typ dvoulinky je v tomto případě méně odolný než oválný. Za cenu obtížnější konstrukce je z hlediska ztrát nejvýhodnější řešení podle obr. 48. Anté-



Obr. 48. Napájení jednotlivých antén čtyřčlenné soustavy souměrným vedením. Výhodné je v tomto případě vedení laděné

ny spojujeme perforovanou dvoulinkou VFSP 510 nebo vzdušným vedením o impedanci 300 Ω nejkratším způsobem.

Pro 300, popř. 150 Ω je poměr průměrů vodičů k jejich osové rozteči při vzduchovém dielektriku 1 : 6, popř. 1 : 2. Mechanickou realizaci souměrných vzdušných napáječů usnadňuje použití laděného napájení, o kterém bylo podrobně referováno v předchozí kapitole. Elektrická délka laděného vedení se vzduchovým dielektrikem se teoreticky shoduje s délkou fyzikální, v praxi však počítáme se zkrácením 3 až 5 % ($k = 0,95$ až $0,97$), kterým se kompenzuje parazitní kapacity, vyskytující se zvláště na koncích vedení, v místě připojení antény či ostatních napáječů. Zkrácení záleží značně na vlastním provedení; zejména pokud jde o nejvyšší přibližované kmitočty.

Na distanční rozpěrky napáječů použijeme co nejtenčí izolační materiály. Pro dokonalou symetrii vedení 150 Ω k společnému napájecímu bodu (zesilovači) podle obr. 48 je třeba, aby spojnice společných bodů obou napáječů (150 Ω a 300 Ω) byla orientována kolmo ke směru, kterým pak vedeme napáječ 150 Ω. Proto musíme rovinu napáječů 300 Ω do tohoto směru z obou konců u antén plynule natáčet. Pak nebude obtížné zaručit shodné délky obou vodičů úseků 150 Ω.

Kdo se chce vyhnout obtížnější realizaci neladěného vzdušného vedení 150 Ω, může použít vedení laděné s větší impedancí. Jinak je možné realizovat vedení 150 Ω také pomocí dvou „paralelních“ stejně dlouhých kusů souosého kabelu 75 Ω, jejichž stínění na koncích propojíme a vnitřní vodiče připojíme jako konce napáječe symetrického. V tomto případě ovšem musíme opět počítat s útlumem všech kabelových úseků.

Existuje pochopitelně celá řada dalších variant napájení jednotlivých antén anténních soustav. Věříme, že si s nimi

zájemci poradí sami po prostudování uvedených informací.

Závěrem si opět stručně shrneme uvedené poznatky a pokyny. Napájení jednotlivých antén soustavy souosým kabelem sice redukuje maximální přírůstek zisku, je však bezporuchové a nezávislé na klimatických vlivech. Napájení symetrickými napájecími může mít menší útlum, protože napáječe bývají kratší, je však méně odolné vůči vnějším vlivům a jeho řešení je konstrukčně obtížnější, útlum vzdušného vedení bývá nepatrný.

Napájení souosým kabelem proto užíváme tehdy, řešíme-li otázku nerušeného příjmu, napájení dvoulínkou s co nejkratšími úseky při požadavku na maximální zisk soustavy v V. pásmu, v němž je útlum běžných napáječů již značný.

Homogenita elektromagnetického pole v místě příjmu je druhým opomíjeným hlediskem při praktickém používání anténních soustav a rozměrných antén vůbec. Pokud není zaručeno, že v prostoru zaujímaném anténní soustavou je homogenita pole dostatečná, nezískáme předpokládaný energetický přírůstek, který by jinak dobře navržená a konstrukčně vyřešená anténní soustava měla zaručit. Aby celá soustava měla maximální zisk, musí přijímané elektromagnetické vlnění dopadat na každou jednotlivou anténu soustavy se stejnou fází a amplitudou. Nároky na homogenitu elektromagnetického pole vyplývají např. z mezinárodních doporučení IEC i našich ČSN o podmínkách měření antén na VKV a UKV, kde se v kapitole o podmínkách měření směrových vlastností antén na měřicím pracovišti (jmenovitě při měření zisku) stanoví maximálně 0,5 dB pro kolísání napětí na zkušebním dipólu, kterým se před měřením prověřuje prostor zaujímaný měřenou anténou. Pokud je tato podmínka splněna, lze na takovém místě měřit zisk s přesností 0,5 až 1 dB. Pokud tato podmínka splněna není, jsou měření zatížena většími chybami. Proto i v našem případě je pro využití energetického přínosu rozměrné anténní soustavy žádoucí dostatečná homogenita elektromagnetického pole. Pokud tomu tak není, pak se přírůstek zisku řazením antén v praxi zmenšuje a i správně navržená a provedená anténní soustava se může jevit jako horší, než anténa jediná.

Homogenita pole bývá ovlivňována zejména nejbližším okolím, tj. výškou antény nad členitou střechou, vzdálenostmi nejbližších staveb, vodičů, stožárů, ale i jinými, často nevysvětlitelnými vlivy. Proto platí zásada – čím rozměrnější anténa, tím výše by měla být umístěna.

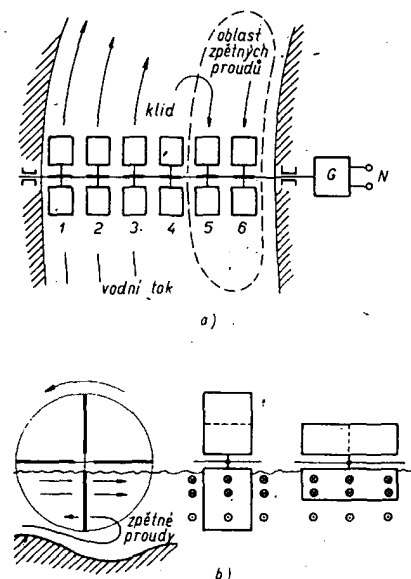
K uvedeným vlivům je třeba přihlídnout při laickém hodnocení, nebo lépe, při praktickém porovnávání různých typů antén v určitém místě. Vlivem místních podmínek se může objektivně lepší anténa jevit jako horší než anténa s menším ziskem. Ze stejného důvodu může být v určitém místě značný rozdíl mezi dvěma typy antén se shodným ziskem (např. plošná anténa soufázová a anténa Yagiho).

Homogenita pole (a její charakter) je většinou kmitočtově závislá, někdy i tak výrazně, že působí značné rozdíly v příjmu obrazového a zvukového signálu téhož kanálu anténou, která má v rozsahu přijímaného kanálu v praxi konstantní zisk. Změny v homogenitě pole mohou mít i sezónní charakter (rozdíly v olístění stro-

mů, změny porostů) a jsou závislé i na počasí (sněhová pokrývka, vodní plochy na zemi i na rovných střechách apod.). Problematiku homogenity nelze ovšem zaměřovat s kolísáním signálu změnou podmínek šíření vlivem počasí! Uvedené vlivy se projevují jak u slabých, tak u silných signálů. Pro názornější představu uvádíme v následující kapitole méně obvyklou formou výklad pojmu homogenita formou výklad pojmu homogenita.

O homogenitě prostředí trochu jinak

Pro názornější představu o vlivu často zmiňované homogenity elektromagnetického pole v místě příjmu na účinnost přenosu energie si pomůžeme příkladem z jiné oblasti. Lopátkové vodní kolo je primitivní a jednoduché zařízení na „příjem“ kinetické energie vodního toku. Generátor elektrického proudu připojený hřídeli ji mění na energii elektrickou. Získaný elektrický výkon je závislý na kvalitě a parametrech technického zařízení a na mohutnosti vodního toku. Je jasné, že za daných podmínek jsou vlastnosti lopátkového kola (v našem případě antény) rozhodující pro množství získané energie. Čím větší je účinná plocha lopatek, popř. čím více lopatek „zabírá“ do vodního toku, tím více energie lze „přijímat“. Teoreticky by mohla n -členná soustava lopátkových kol, upevněných na společném hřídeli (soufázově napájená anténní soustava) zvětšit vyráběný výkon n -krát. Ovšem za předpokladu, že hustota i rychlost vodního toku je v celém profilu zasahovaném lopátkami stejná. O hustotě to říci lze, ale rychlost se může z různých důvodů značně měnit. Za určitých podmínek vznikají v každém řečišti zpětné proudy. V tom případě se na energetickém přínosu nepodílejí všechna kola stejně. Některá dokonce pracují proti sobě, jak je patrné z obr. 49a. Výsledný efekt pak neodpovídá teoretickým předpokladům, pokud s tímto jevem nepočítají, a neodpovídá tedy ani nákladům vynaloženým na takovou soustavu. Jistá analogie s homogenitou toku elektromagnetické energie v místě zaujímaném n -člennou anténní soustavou je tedy zjevná, i když si toto přirovnání nečiní nárok na přesnost. Aby se investice do soustavy lopátkových kol vyplatila, je třeba prověřit vlastnosti vod-

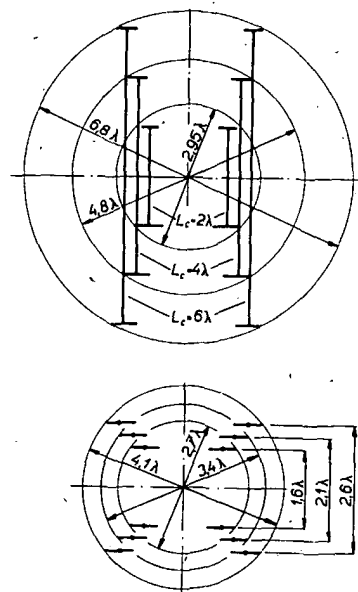


Obr. 49. Přenos energie ovlivňuje homogenita vodního toku

ního toku v místě „příjmu“, a pak případně zvolit místo jiné, nebo soustavu způsobit místním podmínkám. Totéž platí i v případě anténní soustavy. Jedno kolo (jedna anténa) může být v daných podmínkách i výhodnější, než nákladná soustava kol (antén).

Avšak i u jednoduché antény je třeba s vlastnostmi prostředí počítat. Analogie s homogenitou vodního toku pomůže v tomto případě i zde (obr. 49b). Zasahují-li totiž lopatky jediného použitého kola např. do oblasti zpětných spodních proudů, získává se menší výkon, než při užití lopatek o stejné ploše, ale s jinou kombinací plošných rozměrů. Analogicky – dvě antény se stejným ziskem, avšak tvarově odlišné mohou v daném místě vykazovat rozdílné účinky, např. plošná anténa soufázová a dlouhá Yagiho anténa.

K jistému zhodnocení efektivnosti různých anténních soustav přispívá obr. 50, na němž je v poměrném měřítku schema-



Obr. 50. Nároky na prostor, zabíraný třemi různými soustavami

ticky znázorněno uspořádání tří anténních soustav sestavených ze čtyř antén o délce 2λ , 4λ a 6λ . Předpokládáme-li maximální zisk antén podle křivky na obr. 9, tj. 12 dB, 14 dB a 15 dB, a maximální teoretický přírůstek 6 dB pro čtyřnásobnou soustavu, pak teoretické rozdíly v zisku soustav zůstávají stejné jako vzájemné rozdíly v ziscích jednotlivých antén a jsou tedy 2 dB, 3 dB a 1 dB. Útlum napáječů jednotlivých antén však skutečný rozdíl zmenší, jak je vidět z údajů v tab. 6.

Tab. 6.

L_c	G_0 [dB]	$S_e - S_0$ [dB]	G_{\max} [dB]	Útlum napáječů +0,5 dB	$G_{\text{skut.}}$ [dB]	$\frac{d_1}{d_2}$	$\frac{d_2}{d_3}$	$\frac{d_1}{d_3}$
2λ	12	1,6	18	1,2	16,8	2,95	2,7	0,91
4λ	14	2,1	20	2,0	18,0	4,8	3,4	0,71
6λ	15	2,6	21	2,5	18,5	6,8	4,1	0,6

Údaje platí pro délky napáječů typu VFVK 630 potřebné na 750 MHz. Jde tedy o napájení souosým kabelem. Jak je vidět, větší útlum delších napáječů u delších antén redukuje přírůstek zisku, takže výsledné rozdíly v ziscích soustav jsou jen 1,2 dB, 1,7 dB a 0,5 dB.

Je účelné vzít v úvahu ještě jedno hledisko. Účinnost prostorových anténních soustav zahrnuje řadu vlivů a závisí i na efektivním využití zabíraného prostoru s ohledem na homogenitu elektromagnetického pole. **Výhodné jsou antény – soustavy s nepřevládajícím rozměrem v jediném směru, popř. antény zabírající daný prostor ve všech směrech.** Z tohoto hlediska se jeví velmi dlouhé antény jako nevýhodné. Poměr průměrů kružnic d_1/d_2 opsaných uvedeným soustavám ve vertikální a horizontální rovině (viz obr. 50b a 50a) by se měl blížit jedničce („tak, aby se soustava dala uzavřít do koule“).

Takže ne každá rozměrná anténní soustava splní naději v ní kladené; proto je při každém návrhu žádoucí uvážit všechny vlivy.

Yagiho antény se skupinovými direktory

Anténa s několika řadami direktorů, buzených jediným zářičem, je patrně nejúspěšnější modifikací Yagiho antény. Původně vznikla ve vývojových laboratořích firmy Fuba; bylo to počátkem šedesátých let. Nápadu se chopili renomovaní výrobci TV antén jako Stolle, Bosch, Kathrein, Hirschmann a další, a v různých variantách nabízejí tuto modifikaci i v současné době (obr. 51a až g). V principu jde

Obr. 51a až g jsou na 2. straně obálky

o zjednodušenou anténní soustavu, složenou z několika direktorových řad, buzených jediným, zpravidla celovlnným zářičem. Jak víme, narážíme při realizaci běžných anténních soustav, o nichž jsme hovořili v předchozí kapitole, na problémy spojené s napájením jednotlivých dílčích antén, jejich impedancí, s montáží i konstrukcí. Tyto a další potíže vedly k vývoji antén se skupinovými direktory. S ohledem na délky prvků a vzájemné vzdálenosti direktorových řad, lze tento typ prakticky realizovat jen u antén pro IV. a V. pásmo, kdy je konstrukčně možné seskupit direktorové řady kolem jediného ráhna. Vzájemné vzdálenosti řad jsou ovšem poměrně malé, takže nelze dosáhnout zisků, které by měly klasické soustavy o stejném počtu optimálně uspořádaných dílčích antén. Vezmeme-li však v úvahu všechny vlivy redukcující zisk běžných anténních soustav, jak o nich bylo referováno v předchozí kapitole (ztráty v napájecích, nehomogenita elektromagnetického pole, počet napájených zářičů) a v neposlední řadě i hlediska komerční, pak rozhodně nelze antény se skupinovými direktory považovat jen za produkt konkurenčního boje mezi řadou firem (i když jeho vliv nepochybně spolupůsobí), ale za zdařilý kompromis mezi klasickou anténní soustavou a její zjednodušenou variantou určenou pro běžné spotřebitele. Velmi vtipné je především konstrukční řešení, při němž se výrobci předhánějí v nápaditě řešení celé konstrukce i malých detailů. Samozřejmostí je snadné a úplné sestavení celé antény bez použití nástrojů, i za ztížených podmínek na střeše. Překvapující je velmi malá hmotnost, která ani u největších antén s udávaným ziskem 16 až 18 dB nepřesahuje 4,5 kg i s upevňovacím třmenem.

Posuzujeme-li elektrické vlastnosti těchto antén, pak se maximální zisk (asi 16 až 17 dB) může zdát malý v porovnání

Tab. 7. Zahraniční širokopásmové antény se skupinovými direktory pro IV. a V. pásmo

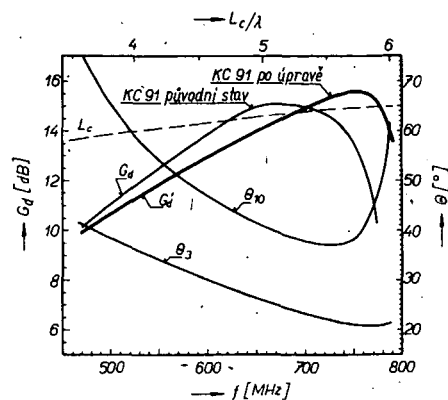
Firma	Typ	Rozsah	Θ_{BE}	Θ_{BH}	ČZP [dB]	Zisk [dB]
Kathrein	Olympia 180 AOT 65	K21 až K65	37°–18°	39°–19°	23–32	12–18
Hirschmann	Fesa 418 UN60	K21 až K60	39°–18°	47°–22°	24–32	11–18
Fuba	XC 391 D	K21 až K60	44°–21°	46°–21°	28–31	16
Bosch	/ Ultra-8 S 83 B	K21 až K68	44°–21°	48°–20°	30	10–17,5
Kompass	KC 91	K21 až K60	22°	22°	30	12–17
Stolle	HC 91 CD	K21 až K60	35°–19°			11,5–18

s maximálním ziskem dlouhé Yagiho antény (např. 28Y 7,3–15,2 dB). Zisk však být větší nemůže, protože konstrukčně není možné zvětšit vzájemnou vzdálenost direktorových řad seskupených kolem jediného ráhna tak, aby odpovídala délce jednotlivých antén soustavy podle křivek na obr. 45, 9 a 10 při současném požadavku na co nejjednodušší konstrukci antény. Pokud by se podařilo vyřešit tento problém, stalo by se patrně zase problematickým buzení vzdálených direktorových řad jediným zářičem. Velikost zisku však musíme hodnotit s přihlédnutím k celkové délce antény. Pro jednoduchou Yagiho anténu je 15,5 dB maximum při $L_c = 7,5$ až 8 λ (viz závislost na obr. 9). Anténa se skupinovými direktory o stejném zisku může být kratší a tudíž s menšími nároky na homogenitu pole. Zvláště příznivý je poměr G_d/L_c u kratších antén, u nichž se vzájemné vzdálenosti direktorových řad více blíží vzdálenosti optimální. Zkrácení antén zjednodušuje jejich montáž, místo v těžišti je možné upevnění za reflektorem. Je to výhodné při dodatečné montáži na stožár, kdy není nutné používat výložná ramena.

V tab. 7 jsou shromážděny podstatné údaje několika antén tohoto druhu, jak jsme je převzali z firemních katalogů. Pro srovnání jsou uvedeny jen antény s maximálním ziskem, určené pro celé pásmo UKV. Téměř každá firma nabízí stejné antény i na nižší části pásma UKV se stejným ziskem. Ty jsou pochopitelně delší. Při měření se ukázalo, že deklarovaný 18 dB zisk je třeba brát s rezervou. Konkurenční boj mezi firmami nutně vede k záměrnému zveličování zisků, popř. ke shodným údajům u většiny antén.

Nejvíce se uváděným údajům přibližují zisky antén firmy Hirschmann typ FESA 418 UN 60 a jeho varianty (viz obr. 51a, b, c). Jako jediné pracují se čtyřmi samostatnými direktorovými řadami a s poměrně příznivou vzdáleností ve svislé rovině. K účinnému vybuzení všech direktorových řad přispívá několik zvláštních vazebních direktorů v blízkosti zářiče.

Zbývá dodat, že u nás se vyrábí a prodává širokopásmová anténa tzv. „X-color“. Jde o výrobek podniků Kovoplast Chlumec n. C., typ KC91 – BL, odvozený z původní antény firmy Fuba. Tato anténa má optimální směrové vlastnosti kolem 660 MHz. Na vyšších kmitočtech se již zisk zmenšuje (viz obr. 52). Anténa v této verzi totiž pochází z doby, kdy poslední kanály



Obr. 52. Směrové vlastnosti antény KC91-BL („X-Color“ – Kovoplast) v původním stavu (G_d) a po úpravě direktorů (G'_d), Θ_d , Θ_h – jde o průměrnou velikost úhlů příjmu v obou rovinách)

V. pásma nebyly obsazeny a anténa se vyráběla v jediném provedení pro IV. a V. pásmo. (V současné době vyrábí Fuba pro celé pásmo UKV tyto antény čtyři, kromě širokopásmového provedení XC 391-D. Její konstrukční provedení je velmi zdařilé a originální. Pozoruhodná je mimořádně nízká hmotnost 3,6 kg.)

Úprava antény KC91-BL (X-Color) na celé IV. a V. pásmo

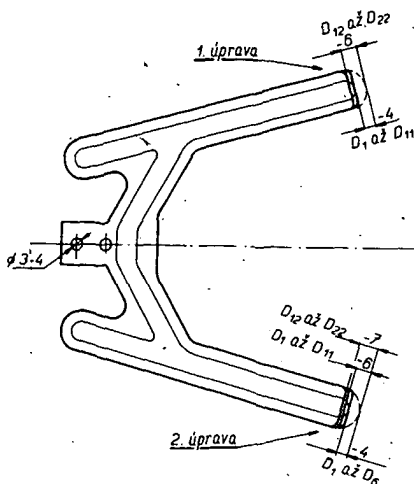
Zisk této antény na obr. 52 se výrazně zmenšuje na nejvyšších kmitočtech V. pásma. Je to způsobeno především rychlým zvětšováním postranních laloků, zejména v rovině H, které na 750 MHz dosahují úrovně jen –3 dB. Proto je často obtížné najít v této rovině výrazné maximum při příjmu na posledních kanálech V. pásma. Příčinou je značná délka direktorů v této části pásma, i když pojem „délka“ u použitého tvaru pasivního prvku není dosti výstižný. Jde v podstatě o dvojici direktorů spojených v místě shodné impedance. Zkrácením vnějších konců této dvojice je možné ovlivnit jejich elektrickou délku tak, aby se optimální směrové vlastnosti antény posunuly dále k vyššímu konci pásma.

Na obr. 53 jsou naznačeny 2 varianty úprav:

1. varianta:

direktory D_1 až D_{11} zkrátíme o 4 mm; tj. odstříháme jen vnější oblouk až k hraně prolisu; direktory D_{12} až D_{22} zkrátíme o 6 mm; tj. odstříháme téměř celý oblouček vnitřního prolisu; ostré rohy poněkud zaoblíme.

- Vytvářet kádrové a věcné podmínky pro urychlenou aplikaci elektroniky a mikroelektroniky ve všech odvětvích národního hospodářství.
- Ve fyzikálních vědách prohlubovat základní poznatky a využívat jich pro řešení materiálových, technologických i součástkových problémů v oblasti elektroniky, výpočetní techniky a strojírenství a pro efektivnější získávání, přeměny a využívání energie.



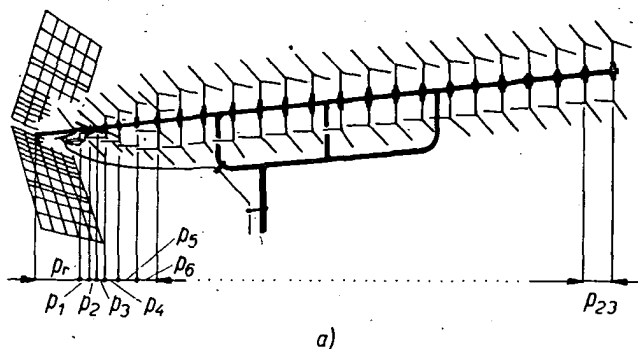
Obr. 53. Doporučená úprava direktorů antény KC91-BL

2. varianta: direktory D₁ až D₅ zkrátíme o 4 mm (jako i 1. varianty),
 direktory D₆ až D₁₁ zkrátíme o 6 mm,
 direktory D₁₂ až D₂₂ zkrátíme o 7 mm.

Na obr. 52 je vyznačen průběh zisku po úpravě délek podle druhé varianty. V porovnání s původním stavem se výrazně zvětší zisk, asi o 5 dB, projevuje zejména na úplném konci V. pásma. Na 750 MHz se zisk zvětší o 1,5 dB. Téměř stejně zvětší zisk na 750 MHz úprava podle varianty 1, avšak na vyšších kmitočtech se zisk zmenšuje, takže maximum zisku se neposunuje až na konec V. pásma. Původní úprava konců skupinových direktorů umožňuje změnit velmi jednoduše rozměry podle varianty 1, bez použití měřítka – i přímo na střeše.

Dvě, popř. tři různé délky upravených direktorů působí větší potlačení postranních laloků (ve shodě s poznatků dříve uvedenými) než v původní úpravě, kdy byly všechny direktory stejně dlouhé. Popsaná úprava (II. varianta) je na 750 MHz, popř. na 790 MHz téměř ekvivalentní dvoučlenné, popř. čtyřčlenné soustavě, složené z původních antén. Na začátku pásma se zisk nezmenší o více než 0,5 dB díky příznivému působení úhlového reflektoru, kterým lze u Yagiho antén zmírnit zmenšení zisku na nižších kmitočtech, tj. v oblasti, v níž direktory přestávají působit.

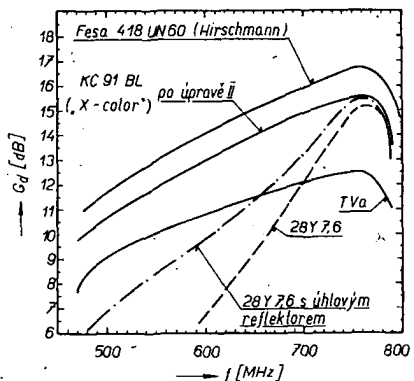
Obr. 54 je na 3. straně obálky.



V porovnání s jinými anténami tohoto druhu lze považovat původní i posunutě elektrické vlastnosti antény KC91-BL za příznivé, ČSV = 1,6 v celém pásmu. Méně spokojenosti je s konstrukčním řešením, které za celá léta nedoznalo změn. K sestavení celé antény je třeba mnoho trpělivosti a někdy i mnoho mechanických úprav. Zvláštní pozornost je žádoucí věnovat rozměrové symetrii (rovnoběžnosti) skupinových direktorů. Konstrukční nevýhodou antény je šifka prvků, které kladou značný odpor větru, takže se časem uvolňují a odpadávají. Doporučuje se posílit upevnění prvků na izolační příchytce šroubem M3 až M4 v místě, naznačeném na obr. 53.

Zbývá dodat, že jde o jedinou anténu tohoto druhu, která se u nás vyrábí.

Širokopásmovou anténou pro celé pásmo UKV je ovšem i souřadná soustava čtyř celovlnných dipólů (typ TVA – výrobek Kovopodniku Plzeň), tzv. „matrace“, nebo „sít“, která je co do elektrických vlastností s anténou KC91-BL srovnatelná. V původní úpravě mají obě antény na začátku i konci pásma UKV skoro stejný zisk, uprostřed pásma UKV, kolem 660 MHz, je KC91-BL podstatně lepší (obr. 55). Má ovšem i větší nároky na homogenitu elektromagnetického pole v místě příjmu.



Obr. 55. Porovnání zisků několika přijímacích TV antén (TVa – souřadová soustava se čtyřmi celovlnnými dipóly, tzv. matrace nebo síto, 28Y 7,3 – dlouhá Yagiho anténa H z tab. 2

**Širokopásmová anténa pro IV.
a V. pásmo – FESA 418UN60
(Hirschmann)**

Anténa je představitelem typu, který měl při kontrolním měření nejlepší směrové vlastnosti v porovnání s jinými anténami tohoto druhu. Skupinové direktory u ní

totiž přispívají ke zvětšení zisku větší vzdáleností ve svislém směru (rozměr S_{H1}). Proto uvádíme její nejdůležitější rozměrové údaje, postačující zkušenějším experimentátorům k realizaci.

Základní rozměry jsou zřejmé z obr. 56. Rozteče prvků na ráhnu jsou:

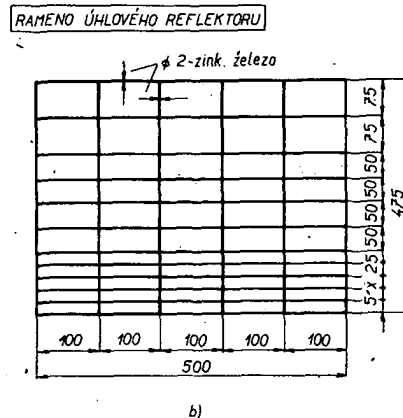
ρ_1 (měřeno od vrcholu úhlového reflektoru, jehož ramena svírají úhel asi 140°) = 200, $\rho_1 = 45$, $\rho_2 = 20$, $\rho_3 = 50$, $\rho_4 = 56$, $\rho_5 = 50$, $\rho_6 = 65$, $\rho_7 = 75$, $\rho_8 = 90$, $\rho_9 = 100$, $\rho_{10} = 110$, $\rho_{11} = 120$, $\rho_{12-14} = 130$, $\rho_{15-22} = 140$, $\rho_{23} = 130$.

Úhlový reflektor zpravidla podstatným způsobem ovlivní váhu antény. Proto se snažíme o jednoduché řešení. Jeho rozměry nejsou kritické. Rozumné odchylky od původních rozměrů nemohou ovlivnit funkci a parametry antény.

Vlastní zářič je celovlnný dipól, tvarovaný jako širokopásmový. Jeho obě poloviny jsou sice galvanicky, přes vf tlumivky, spojeny navzájem a současně s kovovým nosným ráhmem, ale z hlediska vf proudů jsou od nosné konstrukce antény a tedy i země izolovány. Galvanické spojení tlumivkami lze přerušit, aniž se tím ovlivní vf vlastnosti antény. Vf tlumivky mají 18 závitů lakovaného drátu o \varnothing 0,4 mm, navinutých na \varnothing 4 mm. Jsou samonosné, závit těsně vedle závitu. Jsou navrženy tak, aby vyhověly v celém UKV pásmu. Pokud by anténa měla pracovat jen na vyšších kmitočtech, je možné úměrně zmenšit počet závitů. V principu jde vlastně o čtvrtvlnné oddělovací členy. Vf tlumivky přispívají k ochraně vstupních obvodů vf zesilovačů před účinky atmosférické elektřiny při použití celovlnných zářičů. U skládaných dipólů $\lambda/2$ se nepoužívají, protože ty jsou uprostřed galvanicky spojeny s nosnou konstrukcí antény a tím uzemněny. Jak patrně z obr. 56, jsou napájené konce zářičů upevněny v ochranném krytu, v němž je vestáven symetrizační člen nebo anténní zesilovač.

Kompenzační direktor D_1 je upevněn přímo na ráhno. Má největší vliv na impedanční průběh; je proto žádoucí dodržet přesně jeho rozměr a umístění na ráhnu.

Ostatní direktory jsou již skupinové a jsou od ráhna izolovány. Lisované izolační příchytky (rozpěrky) je možno nahradit jednoduchými trubkami z vhodného a trvanlivého izolačního materiálu, např. laminátu, do nichž se zalepí konce direktorů. Tvarovaný profil původních, velmi lehkých prvků je vytvořen z pásek $8 \times 0,5$ mm, jejich průřez je na obr. 56. Vhodným ekvivalentem je hliníkový drát o $\varnothing 3$ až 4 mm. Svislé upevňovací tyčky skupinových direktorů jsou v původním provedení připevněny k ráhnu kloubovou izolační příchytkou, takže jsou uprostřed galvanicky přerušeny. Jejich galvanické spojení s ráhmem podle obrázku nemůže ovlivnit elektrické vlastnosti antény.



Obr. 56. Rozměry antény FESA 418UN60

Odchylna od přímé vodorovné orientace prvků u originální antény byla volena z důvodů konstrukčních a vzhledových.

Pro zachování původních elektrických parametrů je žádoucí dodržet přesně jen některé rozměry. Podle důležitosti následují asi v tomto pořadí: především L_{D1} , L_{D2} a délky ostatních direktorů, jejich rozteče p_1 až p_{22} a t . Dále pak rozměry zářiče a ostatní rozměry ve skupinových direktorech, p_1 a rozměry reflektoru.

Pokročilejší experimentátoři se mohou pokusit mírně zvětšit zisk antény přiměřeným a plynulým zvětšením svislých i vodorovných roztečí u skupinových direktorů. Při amatérské realizaci většinou odpadá požadavek na „skladatelnost“ antény, na proubo nutný u komerčního výrobku pro běžné spotřebitele, který zvětšování rozteče limituje.

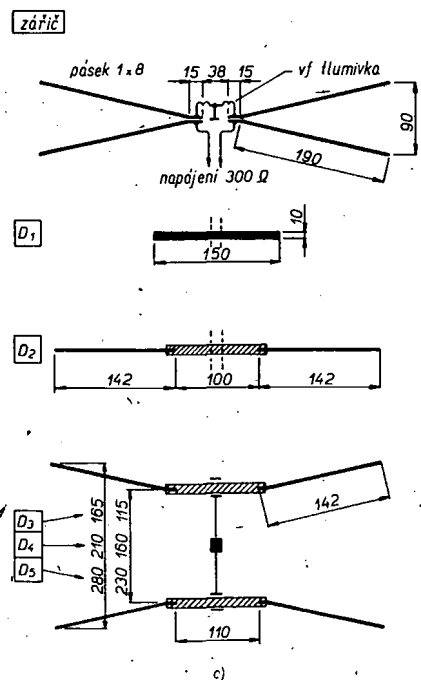
Anténa má optimální směrové vlastnosti v pásmu kolem $f_{sit} = 750$ MHz. Pokud by měla být optimalizována pro jiný (nižší) kmitočet f , je třeba její nejdůležitější rozměry změnit (zvětšit) v poměru $750/f$. Elektrické parametry udané výrobcem jsou v tab. 8. Průběh zisku, jak byl změřen na našem pracovišti, je na obr. 55.

Mezi údaji výrobce a naším měřením je sice rozdíl asi 1 dB, nicméně pokud se týče zisku, jde zatím o nejlepší komerční anténu typu Yagi se skupinovými direktory. Maximální zisk jednoduché, stejně dlouhé Yagiho antény je asi o 2 dB menší podle našeho měření a o 3 dB menší podle údajů výrobce. Z tab. 9 odvozené z údajů výrobce vyplývá, že seskupením čtyř direktorových řad, buzených jediným zářičem, se u antén typu FESA zvětší maximální zisk v průměru o asi 2,5 dB proti jednoduché Yagiho anténě téže délky. Je tedy zhruba ekvivalentní klasické soustavě tvořené dvojicí optimálně uspořádaných jednoduchých antén.

Pro úplnost je třeba dodat, že uvedený typ byl ve výrobě až do roku 1979, kdy byl především z důvodů prodejních nahrazen kompaktnějším provedením podle obr. 51g s údajně stejnými elektrickými parametry.

Antenní soustava pro K28

Jako příklad praktické aplikace uvedených poznatků o Yagiho anténách a sou-



Tab. 8.

Kanál	21/22	23/27	28/31	32/36	37/41	42/45	46/50	51/59	60
Zisk [dB]	11	12	13	14	15	16	17	18	17
ČZP [dB]	24	28	32	32	30	31	27	28	25
Θ_{3E}	39°	36°	33°	30°	26°	23°	22°	20°	18°
Θ_{3H}	47°	42°	38°	34°	30°	26°	25°	23°	22°
Délka [m]	2,665								
El. délka	4,17 λ_{max} až 7 λ_{min}								

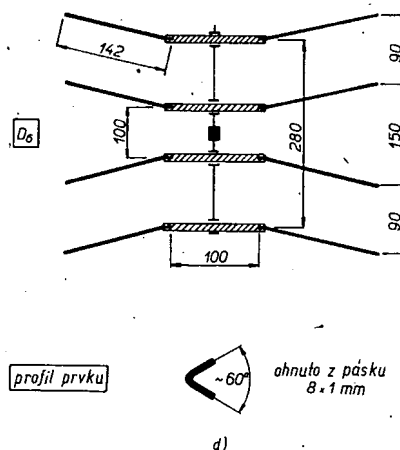
Tab. 9.

Typ	L_c/λ_{min}	G_0 [dB]	$\frac{G_0}{L_c/\lambda_{min}}$	G_{Yagi} [dB] téže délky	Přírůstek G_0 [dB]
413 UN 60	1,4	8,5 až 13	9,3	10,8	2,2
415 UN 60	2,4	9 až 15	6,2	12,5	2,5
417 UN 60	3,9	10 až 17	4,3	14,0	3,0
418 UN 60	7,0	11 až 18	2,7	15,2	2,8

stavách z nich sestavených je stručně popsána dvoučlenná anténní soustava, určená pro příjem na K28, ale vyhovující i na nižších kmitočtech. Záměrem bylo navrhnout a realizovat soustavu optimalizovanou pro experimentální příjem poměrně slabého signálu na K28, rušeného místním vysílačem na poměrně blízkém kanálu, K26. Rozdíl mezi azimuty obou vysílačů byl v místě příjmu 15°. Z grafu na obr. 44, popř. 46 je možno zjistit, že v tomto směru ($\pm 15^\circ$) má minima každá dvoučlenná soustava, jejíž základní antény jsou od sebe vzdáleny 2λ (rozměr S_E). Vzhledem k tomu, že se současně jedná o příjem poměrně slabého signálu, je žádoucí, aby pro zvolenou základní anténu soustavy byla vzdálenost 2λ i optimální vzdáleností z hlediska maximálního zisku celé soustavy. Podle grafu na obr. 45 vyhovují tomuto požadavku ($S_E = 2\lambda$) Yagiho antény s úhlem příjmu asi 30° (Θ_{3E}). Jde tedy o antény o délce $L_c = 3,5$ až $4,5\lambda$ – viz obr. 11. Z rozměrové tabulky (tab. 2) byla vybrána anténa G, typ 17Y 4.1–0,96. Rozměry pro G_{0max} na $f = 532$ MHz ($\lambda = 564$ mm – viz tab. 13) získáme vynásobením této vlnové délky údaji z tab. 2 pro každý rozměrový parametr (tab. 10).

Provedení antény

Pro nosnou konstrukci antény, včetně ráhna, byly použity převážně dílce z rozbraných antén pro IV. pásmo (výrobky KOVOPLAST – Chlumec n. C.) – viz foto na obr. 57. Prvky jsou však připevněny



Tab. 10. Vypočtené rozměry (v mm) anténní soustavy pro K28

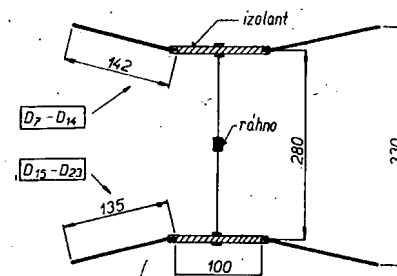
$L_R = 299$	$L_{D8} = 228$	$p_1 = 100$
$L_Z = 294$	$L_{D9} = 226$	$p_1 = 36$
$L_{D1} = 260$	$L_{D10} = 226$	$p_2 = 143$
$L_{D2} = 244$	$L_{D11} = 226$	$p_3 = 172$
$L_{D3} = 244$	$L_{D12} = 226$	p_4 až $p_{14} = 172$
$L_{D4} = 241$	$L_{D13} = 226$	$h = 152$
$L_{D5} = 234$	$L_{D14} = 223$	$t = 6$
$L_{D6} = 232$		$T = 16$
$L_{D7} = 230$		$m = 28$

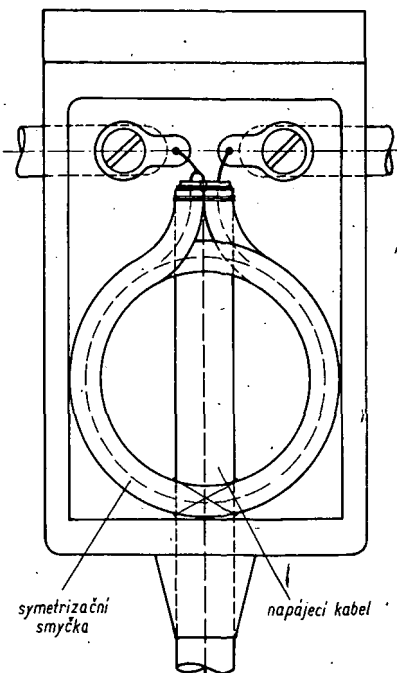
$S_E = 1165$ (tato vzdálenost, 2λ , musí být nastavena pro rušivý signál na $f = 515$ MHz, kmitočet obrazu na K26)

Obr. 57 je na 3. straně obálky

kovovými příchýtkami. Je samozřejmě možné použít i jiné, jednodušší řešení, např. vetknout prvky přímo do ráhna o $\varnothing = 16$ až 18 mm. Pro lepší stabilitu soustavy jsou konce obou ráhna za reflektory spojeny tenkostěnnou laminátovou trubkou. Při robustnější nosné konstrukci to však není nutné.

Antény jsou napájeny souosým kabelem (VFKV 630). Proto je uvnitř každého krytu stočena symetizační smyčka $\lambda/2$ z miniaturního souosého kabelu (VFKT 50-1,5). Délka smyčky je pro kabel s plným polyetylenovým nebo teflonovým dielektrikem ($\epsilon = 2,3$) 182 mm. Provedení je naznačeno na obr. 58. Není samozřejmě nutné, aby celá smyčka byla uschována uvnitř krytu; stačí chránit jen místo připojení ke svorkám antény. Použít jiný typ





Obr. 58. Uspořádání přívodů a symetizační smyčky uvnitř ochranného krytu (ve skutečné velikosti)

symetizačního a transformačního obvodu, např. známý elevátor na tělisku z organického skla je zbytečné, protože jde o příjem v úzkém pásmu. Symetizační smyčka má mimoto jen velmi nepatrný účinek.

Veškeré mechanické i elektrické spoje jsou chráněny vrstvou vosku RESISTIN. Naměřené elektrické parametry na $f = 530$ MHz:

$G_0 = 16$ dB, $\dot{C}ZP = 20$ dB, $\dot{C}SV = 1,2$, $\Theta_{E1} = 13^\circ$, $\Theta_{OE} = 25^\circ$, $\dot{C}PL_E = 11,5$ dB, $\Theta_{SH} = 30^\circ$, $\Theta_{OH} = 47,5^\circ$, $\dot{C}PL_H = 13,0$ dB. $\dot{C}SV = 1,2$ platí pro jednu anténu na 75 Ω . Výstupní impedance soustavy v místě spojení napáječů obou dílčích antén je 37,5 Ω . Na tutéž impedanci je nastaven i vstupní filtr zesilovače [34], připojený v místě spojení obou antén pokračuje souosým kabelem 75 Ω i nadále k přijmači (bez zesilovače), dochází k jistému nepřizpůsobení ($\dot{C}SV = 2$). To lze odstranit transformátorem $\lambda/4$ ze souosého kabelu o impedanci 50 Ω . Proto je výhodnější vést signál dále k přijmači již jen kabelem 50 Ω bez transformace. $\dot{C}SV$ na tomto kabelu pak nepřesáhne 1,6.

Směrování anténní soustavy určené pro potlačení nežádáného signálu na přijímaném kmitočtu je třeba věnovat větší pozornost. Polohu a natočení antény optimalizujeme především na příjmu žádaného signálu, kdy se snažíme dosáhnout příjmu s nejmenším rušením. V daném případě této poloze odpovídá i maximální signál žádané stanice. Pokud se nedosáhne předpokládaného výsledku a anténa je jinak v pořádku, bývá zpravidla příčinou víceméně šíření místního vysíláče vlivem odrazů od vyšších budov a jiných překážek. Předpokládáný tvar směrového diagramu, zvláště pokud jde o úroveň minim, může nepříznivě ovlivnit i nedostatečná výška nad zemí nebo rozměrná plochá střecha.

Pokud by měl být při příjmu daného vysíláče vůdčím hlediskem maximální zisk, bylo by lépe uspořádat tyto antény nad sebou, přibližně ve stejné vzdálenos-

ti, tj. $S_1 = 2\lambda$ na přijímaném kmitočtu. Umožnilo by to použít laděné spojovací vzdušné a bezdrátové vedení o libovolné impedanci a délce $2 \times 1\lambda$. Pro soufázové napájení obou antén by nebylo nutné vedení křížit (viz obr. 38a). Pro přechod z výstupní impedance 150 Ω na impedanci 75 Ω by bylo možno použít transformátor $\lambda/4$ o impedanci 100 Ω , vytvořený např. souměrným stíněným vedením, sestaveným ze dvou úseků souosého kabelu o impedanci 50 Ω (VFKP 261).

Anténní soustavy z antén KC91-BL (X-COLOR) a TVa („matrace“)

Víme, že základní zisk anténních soustav je podmíněn řadou činitelů, jimiž jsme se na předchozích stránkách podrobně zabývali. Anténní soustavy určené pro dálkový příjem, tedy s maximálním ziskem, jsou většinou sestaveny z úskopásmových antén, protože jde zpravidla o příjem v jediném kanálu. Toto řešení vyhoví i pro příjem několika stanic, pokud leží „v rozsahu“ použité základní anténní soustavy. Jde-li o dálkový příjem několika stanic kmitočtově navzájem poměrně vzdálených, je lepší překrýt žádaný rozsah několika samostatnými soustavami.

Jistým řešením je však i širokopásmová anténní soustava sestavená ze širokopásmových antén. Prakticky se k tomuto účelu využívá dvou prodáváných typů. Je to jednak již zmíněná a upravená KC91/BL a známá „matrace“ nebo „sít“ – TVa, výrobek plzeňského družstva KOVOPODNIK. Realizace anténních soustav z uvedených typů se opět řídí již zmíněnými zásadami.

Zajímá nás, jak je to s optimální vzdáleností jednotlivých antén soustavy v jejich celém pracovním pásmu, tj. v rozsahu kmitočtů 470 až 790 MHz, do jaké míry vyhovuje optimálně nastavená vzdálenost S , např. pro $f = 750$ MHz i na počátku pásma. Tutou vzdálenost odvozuje z velikosti úhlu příjmu (nebo směru prvního minima) základní antény soustavy na uvažovaných kmitočtech (viz obr. 45).

Proto jsou v následujících tabulkách (tab. 11 a 12) pro každý z obou typů antény uvedeny tyto údaje: kmitočet f , změřené úhly příjmu Θ_E a Θ_{SH} , S_E/λ , S_H/λ a jejich odpovídající rozměr v mm.

Tab. 11. Anténa KC91-BL, upravená podle popisu (varianta 2)

f [MHz]	Θ_E	S_E/λ	S_E [mm]	Θ_{SH}	S_H/λ	S_H [mm]
470	40°	1,56	996	42°	1,5	958
500	38,5°	2,1	1260	40°	1,56	934
600	30°	2,0	1000	31,5°	1,9	950
700	22°	2,66	1140	25°	2,33	1000
750	20,5°	2,9	1160	23°	2,56	1026
790	21°	2,76	1050	22°	2,66	1010

Tab. 12. Anténa TVa

f [MHz]	Θ_E	S_E/λ	S_E [mm]	Θ_{SH}	S_H/λ	S_H [mm]
470	66°	1,0	640	35°	1,73	1100
500	59°	1,17	698	33°	1,83	1100
600	50°	1,3	650	31°	1,93	964
700	43°	1,5	643	27°	2,2	943
750	41°	1,53	612	25°	2,33	930
790	39°	1,6	608	22°	2,66	1010

Je vidět, že v obou případech jsou optimální vzdálenosti S_E a S_H , vyjádřené v mm, prakticky stejné pro všechny kmitočty pracovního pásma antény.

Pro anténu KCL91-BL jsou průměrné vzdálenosti $S_1 = 980$ mm ± 1 m a $S_E = 1100$ mm $\pm 1,1$ m. V praxi mohou být obě vzdálenosti shodné. Údaje uvedené v tabulce platí pro antény upravené podle varianty 2 (viz str. 26). V uvedených vzdálenostech je možné řadit i antény v původním stavu. Při řazení nad sebou se podstatně zlepši původní tvar směrového diagramu ve vertikální rovině na nejvyšších kmitočtech. Pro lepší zisk na konci pásma je však vhodné zkrátit direktory alespoň podle varianty 1 (str. 25).

Vlastní realizace soustavy je jednoduchá, protože jde o hotové antény. Při řazení vedle sebe se použije vložných ramen. Při řazení nad sebou může nepříliš tlustý stožár procházet řadou skupinových direktorů, aniž se patrným způsobem zmenší zisk. Direktory jsou odděleny izolačními rozpěrkami, takže stožár nepůsobí významnější deformaci pole v prostoru direktorů.

Stabilitu soustavy, která představuje značnou „větrnou“ zátěž vlivem širokých direktorů, lze zlepšit výztuhou mezi vrcholy úhlových reflektorů. Napájení musí být širokopásmové, tj. neladěnými napáječi. Zvláštní pozornost je třeba věnovat upevnění a vedení napáječů (viz str. 23).

Pro anténu TVa jsou průměrné vzdálenosti $S_1 = 1006$ mm a $S_E = 646$ mm. Protože rozměr plochého drátového reflektoru antény TVa je 600 \times 1000 mm, můžeme skládat antény těsně k sobě (v libovolném počtu) při optimálním přizpůsobení v celém pásmu (viz obr. 59). Rozměry S_E a S_1 totiž udávají vzdálenost mezi středy jednotlivých antén soustavy. Jsou-li tyto rozměry shodné s rozměry antén, antény se dotýkají. Při napájení je pochopitelně nutné respektovat impedanční hlediska.

Galvanické spojení reflektorů zlepši ještě poněkud $\dot{C}ZP$, ostatní směrové vlastnosti však neovlivní. Mechanické spojení ovšem zlepši stabilitu soustavy při nepříznivých povětrnostních podmínkách.

Obr. 59 je na 3. straně obálky

Quagi-antény, Yagiho antény se smyčkovými prvky

Až dosud uvažované Yagiho antény byly sestaveny z přímých, poměrně tenkých prvků o délce asi $\lambda/2$. Záříče a pasivní prvky krátkých a dlouhých Yagiho antén však mohou mít i jiný tvar.

Může to být např. jednoduchá drátová smyčka (loop), jejíž obvod měří asi jednu vlnovou délku. Smyčka může mít pravidelný i nepravidelný tvar. Známa je zejména čtvercová smyčka orientovaná tak, že dvě její strany jsou se zemí rovnoběžné a dvě svislé. Jde o tzv. smyčku quad, popř. anténu quad. Tatáž čtvercová smyčka postavená kolmo k zemi úhlopříčkou se nazývá diamond, smyčka trojúhelníková – delta (obr. 60). Uzavřená smyčka může působit jako prvek parazitní – pasivní; otevřená smyčka, tj. v jednom místě přerušená a tam napájená, působí jako prvek aktivní. (Aktivním prvkem je však i uzavřená smyčka napájená bočnickem.) Smyčky lze sestavovat v řady podle stejných zásad, jako záříče přímé. V literatuře i praxi se setkáváme především s řadami podélně vyzařujícími, tzn. že jsou to řady ekvivalentní řadám Yagiho s jednou napájenou a několika parazitními smyčkami. Snadná konstrukce přispěla zvláště k rozšíření antén se smyčkami čtvercovými, jde tedy o tzv. antény quad. Pro jejich víceprko-

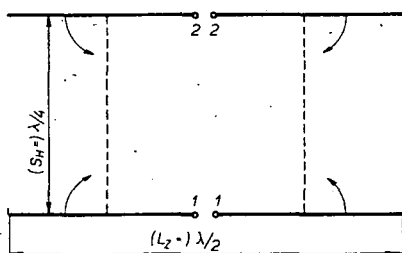


Obr. 60. Smyčkové zářiče různých tvarů. Čtvercový (quad a diamond), trojúhelníkový (delta) a kruhový. Všechny smyčky jsou polarizovány horizontálně

vou variantu se v zahraničí vžil název antény quagi.

Dvou až tříprvkové antény quad nalezly své uplatnění zejména na amatérských pásmech KV. Souvisí to s tím, že smyčkovými anténami byly nejdříve vybavovány některé profesionální vysílače KV (zvláště v horských oblastech). Při značných výkonech totiž u těchto antén nedochází ke vzniku korony, na rozdíl od srščích konců antén dipólových. Na KV je pak vítané 50% zkrácení samonosných prvků, které lze nahradit konstrukcí drátových smyček. Nyní se antény quad objevují na pásmech VKV a UKV, a to i s větším počtem prvků. Rozporné informace o ziskcích antén quad však vnášejí do této problematiky četné nejasnosti. Proto se v dalším textu pokusíme přístupným způsobem objasnit to podstatné pro tyto antény, zvláště pak z hlediska často diskutovaného zisku.

Základem k pochopení činnosti antény quad, popř. smyčkové antény je vlastní smyčka a její vlastnosti. Uvažujme dva dipóly $\lambda/2$ nad sebou ve volném prostoru, ve vzájemné vzdálenosti $\lambda/4$. Oba jsou uprostřed na vstupech 11 a 22 (viz obr. 61).



Obr. 61. Vznik celovlnné smyčky z dvojice soufázově napájených dipólů $\lambda/2$

buzeny stejným napětím o stejné fázi. V obou dipólech tedy potečou stejné proudy a na jejich koncích bude stejné napětí o stejné fázi. Za těchto podmínek k sobě můžeme ohnout všechny čtyři konce dipólů v délce $\lambda/8$, takže vznikne čtverec o straně $\lambda/4$. Protože napětí na koncích dipólů jsou stejná (co do fáze i amplitudy), lze ohnuté konce navzájem spojit, aniž se změní proudy ve čtverci. Proudů zůstanou stejné i v případě, že jeden ze vstupů zkratujeme (např. 22). Pak můžeme považovat spodní dipól za proudem buzený (na svorkách 11) a horní dipól, uprostřed zkratovaný, za napětím buzený na jeho koncích. Shodné napětí ve společných bodech tak vede ke stejným proudům v napájené i nenapájené části smyčky. Aby zůstal stejný i napájecí proud do této „soustavy“, zvětšuje se asi dvakrát vstupní impedance na svorkách 11 při zkratování svorkách 22. Proto se impedance smyček s obvodem asi 1λ pohybuje kolem 120Ω . Jak je vidět (obráz. 62), tečou horizontálními úseky čtverce proudy stejným směrem jako v původních dipólech – neboli tyto úseky „přijímají a vysílají“. Vertikální úseky čtverců však nevyzařují, protože v jejich horních a dolních polovinách tečou stejné proudy opačných smě-

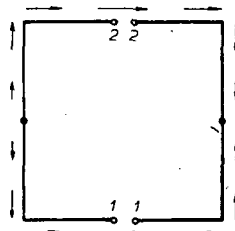
rů. Můžeme říci, že tyto úseky představují jen jistou kapacitní zátěž pro zkrácené horizontální dipóly. Vyzařovací vlastnosti čtvercové smyčky jsou tedy shodné s dvojicí horizontálních, soufázově napájených zkrácených dipólů, tzn. že čtvercová smyčka napájená podle obr. 62, vysílá a přijímá jen horizontálně polarizované signály. Trochu složitějším, ale v principu stejným způsobem určíme polarizaci i u ostatních druhů smyček na obr. 60. Při vyznačeném způsobu napájení jsou všechny polarizovány horizontálně. Pro vertikální polarizaci je nutné přesunout buzení, popř. smyčky pootočit kolem osy kolmé na rovinu smyčky o $\pm 90^\circ$.

Směrové vlastnosti smyčky a její zisk můžeme názorněji vysvětlit, uvažujeme-li původní dvojici dipólů $\lambda/2$ (obráz. 61) jako soufázově napájenou soustavu (nyní předpokládáme, že se čtenář s touto problematikou seznámil na str. 17 až 18). Dva soufázově napájené dipóly $\lambda/2$ ve vzájemné vzdálenosti $S_H = \lambda/4$ vykazují proti jednoduchému dipólu již určitý zisk. Lze jej vypočítat z jejich vzájemné a vlastní impedance (tab. 13).

Tab. 13. Vypočtené zisky soufázově napájených dipólů $\lambda/2$

S_H/λ	G [dB]	G_0 [dB]
0	2,15	0
0,125	2,42	0,27
0,250	3,24	1,1
0,375	4,51	2,35
0,5	5,98	3,83
0,625	6,94	4,79
0,75	6,76	4,61
0,875	5,83	3,68
1,0	4,93	2,78

Jak patrně, přírůstek zisku je maximální při $S_H = 0,625$ ($5/8\lambda$). Stojí za to si tento údaj zapamatovat. Jde totiž o optimální vzdálenost dvou antén, které mají v rovině řazení všesměrový (kruhový) diagram. Je to tedy vůbec nejmenší vzdálenost, se kterou by se mělo při řazení antén počítat při požadovaném maximálním přírůstku zisku. Z jiných hledisek, např. při použití laděného napájení, však volíme vzdálenost menší – nejčastěji $\lambda/2$ (např. u soufázových přijímacích antén typu TVA). Z tab. 13 je patrné, že se tím však připravujeme o zisk 0,96 dB. Pozorný čtenář si jistě všiml, že maximální přírůstek zisku je u dvojice dipólů 4,79 dB a nikoli dříve uváděný 3 dB při zdvojení antény. Souvisí to s tím, že u všesměrových antén se zisk zvětšuje vlivem značné vzájemné vazby. U rozměrnějších, popř. směrovějších antén se vliv vzájemné vazby zmenšuje a maximální přírůstek je 3 dB. V případě smyčky quad je vzdálenost obou prvků pouhých $0,25\lambda$, takže přírůstek zisku je jen 1,1 dB. Oba prvky jsou však zkráceny (jejich vodorovná zářičí část) na 50 % původní délky, takže musíme ještě počítat s jistou redukcí zisku původních dipólů



Obr. 62. Rozložení proudů na celovlnné čtvercové smyčce

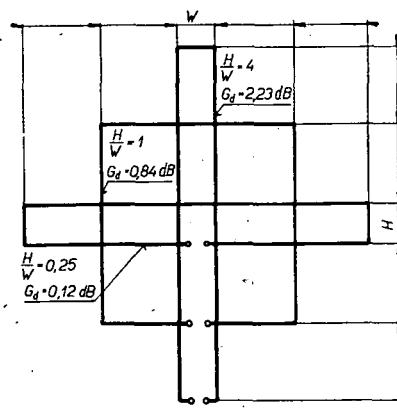
$\lambda/2$. Jak se zmenšuje zisk a vyzařovací odpor zkrácených dipólů je vidět z výsledků uspořádaných v tab. 14.

Tab. 14.

L_z/λ	G [dB]	G_0 [dB]	R_i [Ω]
0,05	1,77	-0,38	1,9
0,1	1,79	-0,36	7,6
0,2	1,87	-0,28	27,0
0,25	1,92	-0,23	38,5
0,3	1,98	-0,17	50,0
0,4	2,09	-0,06	67,0
0,5	2,15	0	73,0

Pro malá zkrácení, kdy je L_z o něco kratší než $\lambda/2$, nezmenšuje se výrazně směrovost – zisk ani vyzařovací odpor. Je to pochopitelné, protože krátkými koncovými úseky, o které je dipól zkrácen, tečou malé proudy, které vlastnosti antény neovlivňují. Při značném zkrácení se zmenšuje zejména vyzařovací odpor a velmi krátká anténa se stává prakticky nepoužitelnou, popř. značně neúčinnou.

Aby bylo možno vypočítat vlastnosti celovlnné smyčky, je třeba znát vzájemnou impedanci dvou zkrácených dipólů. Komplexní výpočet směrových vlastností celovlnných smyček pro různý poměr výšky (H) ku šířce (W) dává údaje, sestavené v tab. 15 (obráz. 63).



Obr. 63. Pravoúhlé celovlnné smyčky s různým poměrem výšky H ku šířce W

Tab. 15.

H/W	H/λ	W/λ	G [dB]	G_0 [dB]	R_i [Ω]
0	0	0,5	2,15	0	292,5
0,12	0,1	0,4	2,27	0,12	257,5
0,66	0,2	0,3	2,67	0,52	169,8
1,0	0,25	0,25	2,99	0,84	120,5
1,5	0,3	0,2	3,39	1,24	76,0
4,0	0,4	0,1	4,38	2,23	16,7
9,0	0,45	0,05	4,93	2,78	3,8

Pro $W = 0,5$ a $H = 0$ dostáváme běžný skládaný dipól s nulovým ziskem, popř. se ziskem $G = 2,15$ dB a odporem, přibližujícím se známé velikosti 300Ω . Se zvětšující se výškou H (neholi S_H , jak jsme označovali vzájemnou vzdálenost jednotlivých antén v soustavě) se sice zisk teoreticky zvětšuje, vyzařovací odpor se však tak zmenšuje, že taková smyčka prakticky nevyzařuje. U jednoduché smyčky quad s poměrem $H/W = 1$ tedy můžeme počítat jen se ziskem $G = 3$ dB,

tj. s 0,84 dB proti jednoduchému dipólu. Je to zisk menší, než se v různé amatérské literatuře původně uvádělo. Poněkud větší zisk lze očekávat u smyčky kruhové (tab. 16).

Tab. 16.

Smyčka	Počet stran	G_0 [dB]	G_0 [dB]	R [Ω]
delta	3	2,7	0,55	104
quad	4	2,99	0,84	120,5
pentagon	5	4,1	0,95	126
hexagon	6	3,16	1,01	129
octagon	8	3,22	1,07	132
kruh	∞	3,28	1,13	135

Je vidět, že zisk smyčky delta je asi o 0,3 dB menší, než u populární smyčky quad. Největší zisk G_0 má celovlnná smyčka kruhová, a to větší než 1 dB.

Pro odhad zisku několikaprvkových Yagiho antén se smyčkami si opět pomůžeme představou anténní soustavy, složené ze dvou klasických, horizontálně polarizovaných Yagiho antén, řazených nad sebou ve vzdálenosti 0,25λ, a s redukovanou délkou prvků vytvářejících čtvercové smyčky. Z kapitoly o anténních soustavách si pamatujeme, že pro maximální přírůstek zisku je třeba řadit jednotlivé antény do optimální vzdálenosti, která je tím větší, čím jsou antény delší.

Aplikováno na smyčkové Yagiho antény to tedy znamená, že zisk víceprvkových smyčkových antén může být jen nepatrně větší, než zisk stejně dlouhých Yagiho antén s přímými prvky.

Rozdíl v zisku v závislosti na počtu prvků, popř. na délce antény u „klasické dvoupásové“ anténní soustavy s $S_1 = 0,25λ$ a antény quad o stejném počtu prvků je nejmenší u tříprvkové antény s $L_c = 0,25λ$, u níž je jen 0,23 dB (viz tab. 17). Lze to říci též tak, že ze všech antén quad je tříprvkový quad nejefektivnější. Jeho maximální zisk může být v úzkém pásmu něco přes 11 dB (G_0), popř. 8 až 8,2 dB (G_0). Záměnou čtvercových smyček za kruhové se může zisk zvětšit ještě o asi 0,5 dB. U jednoduché „klasické“ tříprvkové Yagiho antény můžeme ve stejném pásmu počítat se ziskem G_0 do 7 dB.

Tab. 17.

Počet prvků	$\frac{L_c}{\lambda}$	Přírůstek zisku	
		2x Yagi	1x quad
1	0	1,09	0,86
2	0,15	1,03	0,8
3	0,25	1,38	1,15
6	0,75	0,84	0,61
7	1,25	0,65	0,42

Není nezajímavé, že zmíněná nejefektivnější tříprvková anténa quad zabírá minimální prostor ve tvaru krychle o hraně 0,25λ.

Předchozí výklad o činnosti smyčkových antén můžeme opět shrnout do několika bodů:

1. Jednoduchá smyčka s obvodem přibližně 1λ má poněkud větší zisk než dipól λ/2. Je to způsobeno především užším diagramem v rovině H (tam je diagram dipólu všesměrový). V rovině E je směrový diagram smyčky o něco širší než u dipólu λ/2, protože délka účinné zářivé části je kratší než λ/2.

2. Zisk smyčky se mění s jejím tvarem. U pravouhlých smyček, napájených uprostřed vodorovného vodiče (dolního nebo horního), závisí zisk na poměru výšky H ku šířce W (viz obr. 63). Pro $H/W = 1$ (quad) je zisk $G_0 = 0,84$ dB. Pro $H/W < 0,1$, kdy jde vlastně o skládaný dipól, je $G_0 = 0$ dB, popř. $G_0 = 2,15$ dB.

3. Směrové vlastnosti smyček nejsou závislé na místě napájení, takže smyčka quad i smyčka diamond mají stejný zisk i vyzařovací odpor.

4. Yagiho smyčková anténa má poněkud větší zisk než ekvivalentní klasická anténa Yagi. Výpočty ukazují, že rozdíly závisí na délce antény. U kratších antén je přírůstek zisku smyčkových antén asi 1 dB, u delších se však zmenšuje pod 0,5 dB. Lze tedy říci, že výhoda nepatrného zvětšení zisku u několikaprvkové antény quagi prakticky mizí, a oba typy antén mají téměř stejný zisk.

5. Proti skládaným dipólům mají smyčky o polovinu menší impedanci. To komplikuje realizaci smyčkových antén se vstupní impedancí 300 Ω pro TV. Proto se impedance smyček zpravidla nastavuje na 50, popř. 75 Ω. Uspadňuje se tím jejich souose napájení bez symetrizačního členu (obdoba souose napájeného skládaného dipólu).

6. Protože výpočet vzájemných impedancí smyček je obtížný a nevede k přesným výsledkům, je nastavení optimálních rozměrů smyčkových antén experimentální záležitostí.

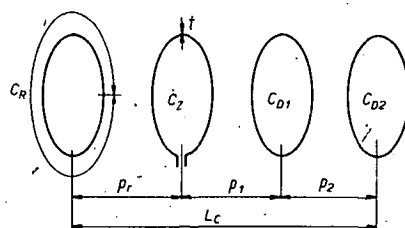
7. I při střizlivém hodnocení zisku jsou v některých případech smyčkové antény výhodné. Na KV ceníme jejich menší nároky na zabíraný prostor a snadnější konstrukci z hlediska amatérské realizace. Malá vzájemná vazba soustředných smyček umožňuje realizovat několikaprvkové smyčkové antény na jediné konstrukci, bez nároků na další prostor. Na pásmech VKV a UKV, kde není prostorová problematika zpravidla kritická, jsou antény použitelné s výhodou hlavně jako malé (tříprvkové) vnitřní TV přijímací antény v nehomogenním poli dostatečně silného signálu.

Praktická realizace smyčkových antén

Protože jsme až dosud neměli dostatek příležitosti k ověření elektrických parametrů různé publikovaných antén, uvádíme v dalším jen stručné pokyny, které by měly spolu s předchozím souhrnem usnadnit amatérské experimentování v této oblasti. Shodné principy při řazení smyček a přímých prvků v řady Yagiho k tomu přispívají.

Na směrové vlastnosti smyčkových antén mají vliv především tyto rozměrové parametry (viz obr. 64):

- rozměry pasivních smyček, tj. délka jejich obvodu C_R a C_0 ;
- vzájemné vzdálenosti všech smyček p_1 a p_{1-n} . Maximální použitelná rozteč u víceprvkových smyčkových antén je 0,4λ.



Obr. 64. Označení rozměrů několikaprvkové smyčkové antény

Průměry vodičů, tvořících smyčky nejsou příliš kritické. Směrové vlastnosti neovlivňuje rozměr smyčky napájené.

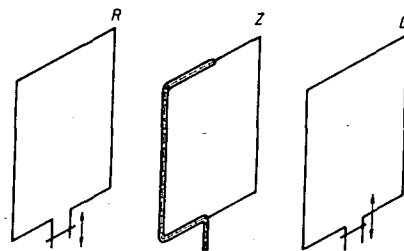
Každé délce antény odpovídá určitý optimální obvod direktorových smyček. Konkrétní údaje pro praktický návrh však nejsou publikovány. Např. pro anténu o $L_c = 2λ$ s konstantním $p = 0,2λ$ bylo nalezeno optimální $C_0 = 0,9λ$. Anténa měla zisk $G_0 = 11,5$ dB. Větší C_0 způsobil výraznější zmenšení zisku, menší C_0 naopak směrové vlastnosti příliš nezhoršil ($C_0 = 0,8λ$, $G_0 = 10,5$ dB). Tendence jsou tedy stejné jako u běžných antén Yagi.

U tříprvkových antén se dosahuje maximálního zisku s těmito rozměry:

$$\begin{aligned} C_R &= 1,1λ, & p_1 &= 0,15 \text{ až } 0,25λ, \\ C_2 &= 1,5 \text{ až } 1,3λ, & p_2 &= 0,1 \text{ až } 0,15λ, \\ C_{D1} &= 0,95λ, \end{aligned}$$

Záříč se při tom navrhuje tak, aby pracoval mimo vlastní rezonanci ($C_2 = 1,2$ až $1,3λ$), což zlepšuje impedanční širokopásmovost antény a zvětšuje její vstupní odpor.

Podobně jako u běžných antén Yagi zvětšuje se u těchto antén kritičnost nastavení se zmenšující se šířkou pásma (malé rozdíly v obvodech smyčky reflektorové a direktorové, tzn. především na úzkých amatérských pásmech KV. Antény lze doladit na maximální zisk, popř. ČZP posuvem zkratů krátkých úseků vedení zařazených do proudového maxima poněkud zkrácených smyček (viz obr. 65). Každé doladování smyček má ovšem vliv na vstupní impedanci antény. Kontrola reflektometrem je žádoucí.



Obr. 65. Doladování pasivních prvků smyčkové antény posuvnými zkratů

Pro vlastní konstrukci antén quagi platí stejná hlediska jako u běžných antén Yagi. Samonosné smyčky (na VKV) se na společné kovové nosné ráhno upevní v místech nulového napětí. Na každé uzavřené smyčce jsou tato místa dvě. Přerušení smyček v místech maximálního napětí nemá vliv na elektrické vlastnosti antény. Proto je možné kombinovat čtvercové i přímé prvky, např. před dvojicí smyčkového reflektoru a záříče umístit dvě řady přímých direktorů nad sebou ($S_1 = 0,25λ$) apod.

Seznam a mapa TV vysílačů

Při experimentování s příjmem TV se neobejdeme bez informací o celkovém rozložení TV vysílačů. Mapka doplněná seznamem zachycuje stav základní sítě čs. TV vysílačů na konci roku 1981. Uspadňuje orientaci na pásmech TV při dálkovém příjmu, proto jsou zakresleny i nejbližší vysílače zahraniční, a pomůže při výběru alternativních čs. vysílačů při rušení a nekvalitním příjmu vysílačů místních. Praxe ukazuje, že za jistých okolností není příjem místního vysílače vždy nejlepším

Tab. 18. Pásmo, kanály, kmitočty a vlnové délky (podle OIRT)

Pásmo	Kanál	Rozsah [MHz]	$f_{obr.}$ [MHz]	$f_{zv.}$ [MHz]	$\lambda_{obr.}$ [cm]	$\lambda_{zv.}$ [cm]
i. pásmo	K1	48,5 až 56,5	49,75	56,25	603,0	533,3
	K2	58 až 66	59,25	65,75	506,3	456,3
VKV FM		67 až 73			447,8 až 411,0	
II. pásmo	K3	76 až 84	77,25	83,75	388,3	358,2
	K4	84 až 92	85,25	91,75	351,9	327,0
	K5	92 až 100	93,25	99,75	321,7	300,7
Amatéri		144 až 146			208,3 až 205,5	
III. pásmo	K6	174 až 182	175,25	181,75	171,2	165,1
	K7	182 až 190	183,25	189,75	163,7	158,1
	K8	190 až 198	191,25	197,25	156,8	151,7
	K9	198 až 206	199,25	205,75	150,6	145,8
	K10	206 až 214	207,25	213,75	144,7	140,3
	K11	214 až 222	215,25	221,75	139,4	135,3
	K12	222 až 230	223,25	229,75	134,4	130,6
Amatéri		432 až 438			69,4 až 68,5	
IV. pásmo	K21	470 až 478	471,25	477,75	63,7	62,9
	K22	478 až 486	479,25	485,75	62,6	61,8
	K23	486 až 494	487,25	493,75	61,6	60,8
	K24	494 až 502	495,25	501,75	60,6	59,8
	K25	502 až 510	503,25	509,75	59,6	58,8
	K26	510 až 518	511,25	517,75	58,7	57,9
	K27	518 až 526	519,25	525,75	57,8	57,1
	K28	526 až 534	527,25	533,75	56,9	56,2
	K29	534 až 542	535,25	541,75	56,0	55,4
	K30	542 až 550	543,25	549,75	55,2	54,6
	K31	550 až 558	551,25	557,75	54,4	53,8
	K32	558 až 566	559,25	565,75	53,6	53,1
	K33	566 až 574	567,25	573,75	52,9	52,3
	K34	574 až 582	575,25	581,75	52,1	51,6
	K35	582 až 590	583,25	589,75	51,4	50,9
	K36	590 až 598	591,25	597,75	50,7	50,3
	K37	598 až 606	599,25	605,75	50,1	49,6
	K38	606 až 614	607,25	613,75	49,4	48,9
	K39	614 až 622	615,25	621,75	48,7	48,2
V. pásmo	K40	622 až 630	623,25	629,75	48,1	47,6
	K41	630 až 638	631,25	637,75	47,5	47,0
	K42	638 až 646	639,25	645,75	46,9	46,4
	K43	646 až 654	647,25	653,75	46,3	45,9
	K44	654 až 662	655,25	661,75	45,8	45,3
	K45	662 až 670	663,25	669,75	45,2	44,8
	K46	670 až 678	671,25	677,75	44,6	44,2
	K47	678 až 686	679,25	685,75	44,1	43,7
	K48	686 až 694	687,25	693,75	43,6	43,2
	K49	694 až 702	695,25	701,75	43,1	42,7
	K50	702 až 710	703,25	709,75	42,6	42,3
	K51	710 až 718	711,25	717,75	42,2	41,8
	K52	718 až 726	719,25	725,75	41,7	41,3
	K53	726 až 734	727,25	733,75	41,2	40,9
	K54	734 až 742	735,25	741,75	40,8	40,5
	K55	742 až 750	743,25	749,75	40,4	40,0
	K56	750 až 758	751,25	757,75	39,9	39,6
	K57	758 až 766	759,25	765,75	39,5	39,2
	K58	766 až 774	767,25	773,75	39,1	38,8
	K59	774 až 782	775,25	781,75	38,7	38,4
	K60	782 až 790	783,25	789,75	38,3	38,0

Pásmo, kanály, kmitočty a vlnové délky (podle CCIR)

I. pásmo	K2	47 až 54	48,25	53,75	621,8	558,1
	K3	54 až 61	55,25	60,75	543,0	493,8
	K4	61 až 68	62,25	67,75	481,9	442,8
VKV FM		88 až 100			340,9 až 300,0	
III. pásmo	K5	174 až 181	175,25	180,75	171,2	166,0
	K6	181 až 188	182,25	187,75	164,6	159,8
	K7	188 až 195	189,25	194,75	158,6	154,0
	K8	195 až 202	196,25	201,75	152,9	148,7
	K9	202 až 209	203,25	208,75	147,6	143,7
	K10	209 až 216	210,25	215,75	142,7	139,0
	K11	216 až 223	217,25	222,75	138,1	134,7
	K12	223 až 230	224,25	229,75	133,8	130,6
IV. pásmo	Označení kanálů a kmitočty obrazu jsou shodné s rozdělením podle normy OIRT. Kmitočty zvuku jsou posunuty o 1 MHz níže.					
V. pásmo						

řešením. V některých částech Prahy je např. výhodnější přijímat jeden z obou čs. programů (případně oba) z některého severočeského vysílače. Jiné oblasti jsou dobře zásobeny z několika směrů; např. severovýchodní část středoeckého kraje. Tam pak zase nemusí být optimálním příjem 1. a 2. programu z téhož vysílače.

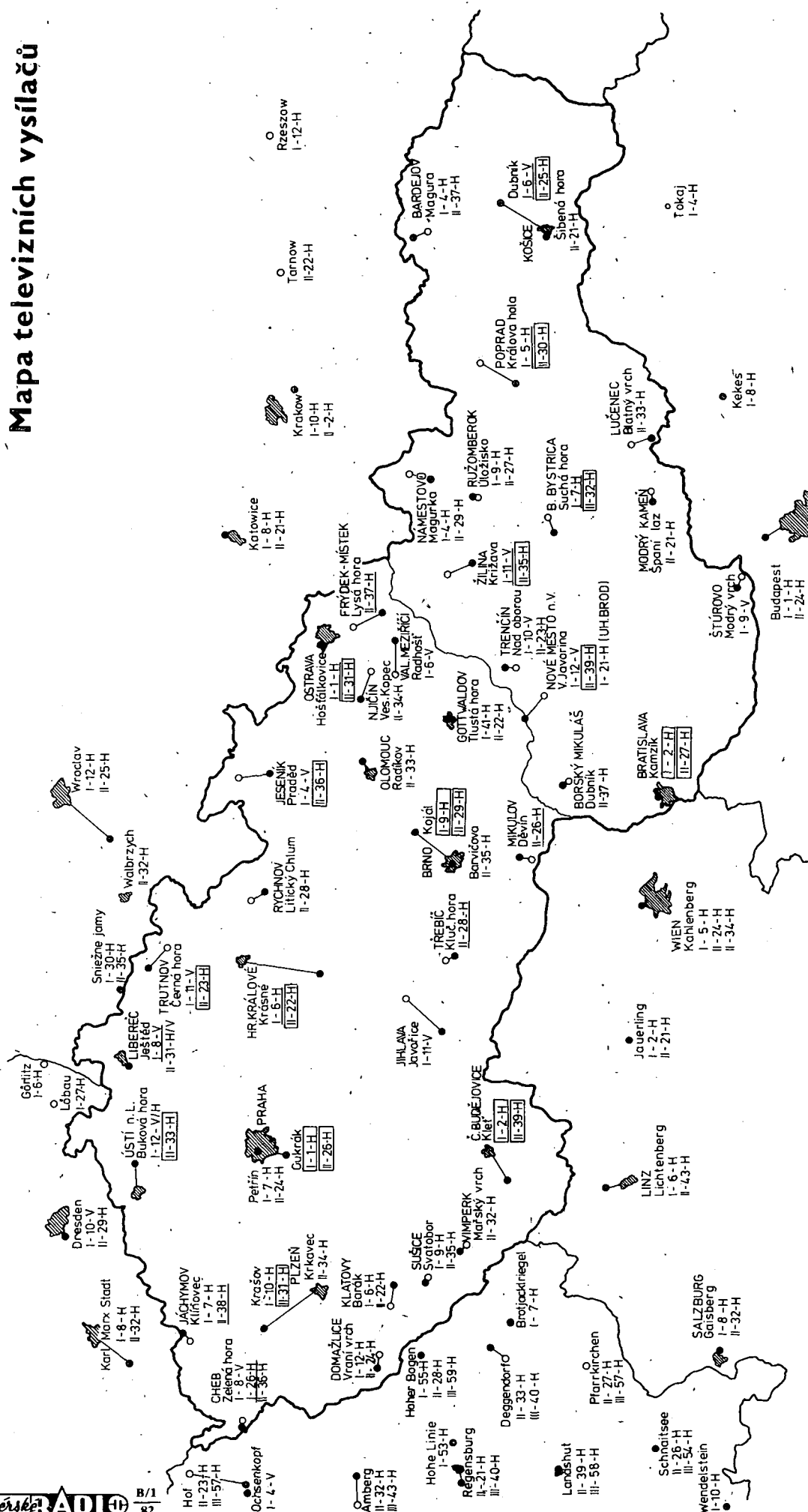
Kromě uvedených vysílačů základní síť je v současné době v provozu již přes 1000 (!) vysílačů místních, tzv. převaděčů, které ovšem mají vyslovené lokální význam. Většinou zajišťují příjem v místě nepříznivém z hlediska šíření VKV, tj. v zastíněných oblastech, údolích apod.

Vysílače jsou v tabulce seřazeny podle krajů. Následuje jméno vysílače, tj. mezinárodně notifikované označení a název skutečného stanoviště, které se většinou neshoduje se jménem vysílače. Východočeský vysílač Hradec Králové je např. umístěn na vrchu Krásné, což je 40 km znázorněny. Vlastní stanoviště je vždy označeno černým bodem. Následuje označení kanálů a polarizace pro každý program. V několika případech je 1. program vysílán i na kanálech IV. a V. pásmo. Jde např. o K41 – Gottwaldov a další. K41 je též nejvyšší kanál obsazený vysílačem čs. základní sítě. U místních vysílačů – převaděčů jsou při jejich značném počtu obsazeny všechny kanály až do K51. V tabulce je dále uveden i výkon vysílače, který se však neshoduje s výkonem vyzářeným, protože nezahrnuje zisk antény. Cennou informací je údaj o vysílané polarizaci, která je u několika významných vysílačů 1. programu vertikální (Liberec K8, Trutnov K11, Cheb K8, Jihlava K11, Val. Meziříčí K6, Žilina K11, Košice K6). Tyto informace nejsou stále dostatečně rozšířeny, a tak se ještě setkáváme s nesprávně polarizovanými anténami. Opačná polarizace zeslabuje přijímaný signál minimálně o 20 dB. Anténa vysílače Ústí n. L. na Bukové hoře na K12 pracuje s eliptickou polarizací. Jde o experiment, prováděný a vyhodnocovaný Výzkumným ústavem spojů – Praha. Při příjmu tohoto vysílače by v průměru neměl být rozdíl v síle signálu, přijatého libovolně polarizovanou anténou. Vliv polarizace přijímací antény by se měl projevit v místech, v nichž je přijímaný signál znehodnocen odrazy; jinými slovy eliptická (kruhová) polarizace vysílací antény umožňuje v jistých místech potlačit vhodnou polarizaci přijímací antény ty odrazy, na které „nestačí“ přijímací anténa svými směrovými vlastnostmi.

Literatura

- [1] Yagi, H.; Uda, S.: Proc. of the Imperial Academy, únor 1926.
- [2] Uda, S.: J. of the Inst. of Elec. Eng. of Japan, 1927–28.
- [3] Yagi, H.: Beam Transmission of Ultra Short Waves. Proc. Inst. of Radio Engrs, 1928.
- [4] Uda, S.; Mushiake, Y.: Yagi-Uda Antenna. Research Inst. of Elec. Comm. Tohoku University: Sendai 1954.
- [5] Kraus, J. D.: Antennas. McGraw-Hill: New York 1950.
- [6] King, R. W.: The Theory of Linear Antennas. Harvard University Press: Massachusetts 1956.

Mapa televizních vysílačů



Tab. 19. Čs. televizní vysílače základní sítě

Kraj	Název vysílače	Stanoviště	1. program	2. program
Praha-město Středočeský	Praha-město Praha	Petřín Cukrák	K7 H 2,5 kW K1 H 30	K24 H 15 kW K26 H 50
Jihočeský	Č. Budějovice Vimperk	Kleť Mařský vrch	K2 H 10 -	K39 H 20 K32 H 5
Západočeský	Plzeň Plzeň-město Cheb Cheb Jáchymov Domažlice Klatovy Sušice	Krašov Krkavec Zelená hora Zelená hora Klínovec Vranní vrch Bárák Svatobor	K10 H 10 - K8 V 0,1 K26 H 5 K7 H 0,3 K12 H 0,2 K6 H 0,3 K9 H 0,1	K34 H 5 K31 H 20 K36 H 5 - K38 H 20 K24 H 5 K22 H 5 K35 H 5
Severočeský	Ústí n. L. Liberec	Buková hora Ještěd	K12 V/H 10 K8 V 2,5	K33 H 20 K31 V/H 5
Východočeský	Hradec Králové Trutnov Rychnov n. Kn.	Krásné Černá hora Litický chlum	K6 H 10 K11 V 0,2 -	K22 H 20 K23 H 20 K28 H 5
Jihomoravský	Brno Brno-město Jihlava Třebíč Gottwaldov Uherský Brod Mikulov	Kojál Barvičova Javorice Klučovská hora Tlustá hora Velká Javorina Děvín	K9 H 20 - K11 V 2,5 - K41 H 2 K21 H 0,8 -	K29 H 20 K35 H 2 - K28 H 10 K22 H 5 - K26 H 10
Severomoravský	Ostrava Jeseník Olomouc Nový Jičín Val. Meziříčí Frýdek-Místek	Hošťálkovice Praděd Radíkov Veselský kopec Radhošť Lysá hora	K1 H 10 K4 H 2 - - K6 V 0,1 -	K31 H 20 K36 H 20 K33 H 2 K34 H 5 - K37 H 20
Západoslovenský	Bratislava Nové Mesto n. V. Nové Mesto n. V. Trenčín Štúrovo Borský Mikuláš	Kamzík Velká Javorina Velká Javorina Nad Oborou Modrý vrch Dubník	K2 H 10 K12 V 0,3 K21 H 10 K10 V 0,6 K9 V 0,1 -	K27 H 20 K39 H 20 - K23 H 5 - K37 H 5
Středoslovenský	B. Bystrica Žilina Ružomberok Námestovo Lučenec Modrý Kameň	Suchá hora Križava Úložisko Magurka Blatný vrch Španý laz	K7 H 10 K11 V 5 K9 H 0,6 K4 H 0,6 - -	K32 H 50 K35 H 20 K27 H 2 K29 H 5 K33 H 5 K21 H 5
Východoslovenský	Košice Košice-město Poprad Bardejov	Dubník Šibená hora Kráľova Hôľa Magura	K6 V 10 - K5 H 10 K4 H 1	K25 H 50 K21 H 0,2 K30 H 20 K37 H 5

Tabulka zpracována podle Novotný, J.: Sít televizních vysílačů v závěru 6. pětiletky. Telekomunikace č. 9/1980.

- [7] Walkinshaw, W.: Treatment of Short Yagi Aerials. J. of the IEE, vol. 93, část 3a. Londýn: 1946.
- [8] Vysokovskij, D. M.: Amplitudofázovye sootnošenija tokov v vibratorach anteny „volnovoj kanal“. Dokl. Akad. nauk SSSR 96, č. 5/1954.
- [9] Reid, D. G.: The Gain of an Idealized Yagi Array. J. of the IEE, vol. 93, část 3a. Londýn: 1946.
- [10] Sengupta, D. L.: On the Phase Velocity of Wave Propagation Along an Infinite Yagi Structure. IRE Trans. AP-7, VII., č. 3/1959.
- [11] Fisheden, R. M.; Wiblin, E. R.: Design of Yagi Aerials. Proc. Inst. of Electr. Eng. 96, III/1949.
- [12] Reynolds, D. K.: Broad Band Traveling Wave Antennas. IRE Nat. Conv. Rec. I, březen 1957.
- [13] Spector, J. O.: An Investigation of Periodic Structures for Yagi Aerials. Proc. Inst. of Electr. Eng., B 105, leden 1958.
- [14] Sengupta, D. L.: On Uniform and Linearly Tapered Long Yagi Antennas. IRE Trans. AP-8, 1960.
- [15] Bojsen, J. H.; Jacobsen, H.; Nilsson, E.; Andersen, H. B.: Optimization of Yagi-Uda Arrays. Laboratory of Elmag. Theory TU of Denmark, Lyngby 1971.
- [16] Green, H. E.: Design Data for Short and Medium Length Yagi-Uda Arrays. Elec. Eng. Trans., březen 1966. The Inst. of Eng. Australia.
- [17] Cheng, D. K.: Optimization Techniques for Antenna Arrays. Proc. of IEEE, vol. 59, prosinec 1971.
- [18] Cheng, D. K.; Chen, C. A.: Optimum Element Spacings for Yagi-Uda Arrays. IEEE Trans. AP-21, září 1973.
- [19] Chen, C. A.: Perturbation Techniques for Directivity Optimization of Yagi-Uda Arrays. Ph. D. Dissertation, Syrac. Univers., N. Y. 1974.
- [20] Chen, C. A.; Cheng, D. K.: Optimum Element Lengths for Yagi-Uda Arrays. IEEE Trans. AP-23, leden 1975.
- [21] Ehrenspeck, H.; Poehler, H.: A New Method of Obtaining Maximum

- Gain from Yagi Antennas. IEE Trans. AP7, říjen 1959.
- [22] Lindsay, J.: Quads and Yagis. QST, květen 1969.
- [23] Greenblum, G.: Notes of the Development of Yagi Arrays. QST, č. 8 a 9/1956.
- [24] Kmosko, J. A.; Johnson, H. G.: Long Yagis. QST č. 1/1956.
- [25] Orr, W. I.; Johnson, H. G.: VHF Handbook 1957.
- [26] Wiezbicke, P.: Yagi Antenna Design. National Bureau of Standards, TN 688, US Dep. of Commerce, Washington, DC., prosinec 1976.
- [27] Lawson, J.: Yagi Antenna Design. HAM Radio: New York 1980.
- [28] Hansen, W. W.; Woodyard, J.: A New Principle in Directional Antenna Design. Proc. IRE 26, březen 1938.
- [29] Zucker, F. J.; Thomas, A. S.: Radiation from Modulated Surface Wave Structures. IRE Nat. Conv. Rec. část I, 1957.
- [30] Jasik, H. G.: Antenna Engineering Handbook. McGraw-Hill: New York 1961.
- [31] Fiebranz, A.: Antennenanlagen für Rundfunk und Fernsehempfang. Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik: Berlin 1961.
- [32] Rothe, G.: Antennenpraxis. VEB Verlag Technik: Berlin 1964.
- [33] Procházka, M.: Zvažte zisk své antény. ST č. 12/1979.
- [34] Krupka, Z.; Philipp, Z.: Příjem a rozvod televizních a rozhlasových signálů. AR-B, č. 5/1979.
- [35] Kolmačka, F.: Protiporuchové televizní přijímací antény. ST č. 5/1977.
- [36] Český, M.: Antény pro příjem rozhlasu a televize. SNTL: Praha 1976.
- [37] Vit, V.; Kočí, J.: Televizní příjem na IV. a V. pásmu. SNTL: Praha 1971.
- [38] Čaha, V.; Procházka, M.: Antény. SNTL: Praha 1956.
- [39] Český, M.; Procházka, M.: Radio-technická příručka II, s. 8 až 96. SNTL: Praha 1978.
- [40] Prokop, J.; Vokurka, J.: Šíření elektromagnetických vln a antény. SNTL/ALFA: Praha/Bratislava 1980.
- [41] Firemni literatura (Hirschmann, Kathrein, Stolle, Fuba, Bosch, Kompass, RFT-VEB Bad Blankenburg, Kovoplast).
- [42] Čs. normy související s problematikou antén:
ČSN 341380 Ochrana před nebezpečnými účinky statické elektřiny,
ČSN 341390 Předpisy pro ochranu před bleskem,
ČSN 342820 Předpisy pro antény,
ČSN 342830 Předpisy pro společné přijímací televizní a rozhlasové antény a jejich rozvody,
ČSN 367210 Televizní a VKV přijímací antény.

OPRAVA
V AR řady B č. 5/1981 byla na třetí straně obálky otištěna deska s plošnými spoji bez uvedení jejího objednáčického čísla. Deska má objednáčické číslo P232 a lze ji pod tímto číslem zakoupit v prodejně v Budečské ulici v Praze, nebo objednat na dobírku v Hradci Králové.

Antény v podmínkách praktického příjmu

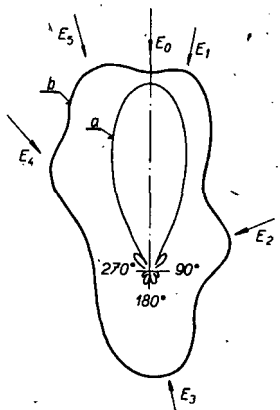
V praxi se sotva vyskytne ideální případ zcela homogenního rozložení elektromagnetického pole v místě příjmu. Rozdíly v rozložení pole jsou spíše velmi rozmanité a sotva se ve stejné konfiguraci opakují na jiném místě. Tato skutečnost podstatně ovlivňuje zvláštní problematiku při volbě vhodné přijímací antény a jejího umístění. Ve většině případů se při tom spoléháme na zkušenosti, které během doby každý experimentátor nebo montér antén získá, případně porovnáváme dosažené výsledky se současným stavem. Ne vždy však vedou tyto zjednodušené přístupy a kritéria k žádanému výsledku. Platí to zvláště při instalaci antén v zastavěném prostředí, za překážkami apod. Situace je tu obtížná a nepřehledná proto, že nejen amplitudy, ale i fázové plochy elektromagnetického pole podléhají silným změnám, jejichž příčiny nejsou často zjevné. V tom tkví zvláštní problematika použití přijímacích antén. Lze říci, že toto „komplexní“ elektromagnetické pole je velmi obtížné, či spíše sotva pochopitelné. Proto je třeba zkoušet, jak správně posoudit a vystihnout existující pole a z toho pak projektovat anténní soustavu. Ve výhodě je tu ten, kdo má dostatečné znalosti a zkušenosti, užitečné měřicí přístroje i dostatek času a trpělivosti.

Zvláštnosti rozložení elmag. pole v místě příjmu

V praxi máme v místě příjmu téměř vždy více méně nehomogenně rozložené elmag. pole. Příčinou jsou zejména odrazy od země, budov, terénních tvarů, takže se v místě příjmu objeví kromě přímého signálu i časově různě zpožděné signály odražené. Časové zpoždění znamená i změnu fáze.

Prostorové rozložení elmag. pole se ovšem mění i v závislosti na kmitočtu, a to i v rozsahu jediného TV kanálu, takže poměry na obrazovém a zvukovém kmitočtu mohou být značně odlišné. Při BTV jsou pak vlivy selektivního rozložení pole na kvalitu obrazu podstatně výraznější, což je příčinou větších potíží při výběru místa pro anténu i výběru antény samé. Znamená to též, že ne v každém místě, kde byl dobře přijímán černobílý obraz, musí být dobrý i příjem obrazu barevného. Příčinou je zpravidla umístění, popř. typ antény vzhledem k výše zmíněným vlivům (pokud ovšem přenosu BTV vyhovují svými parametry další části přenosové cesty od antény k přijímači, což zejména u starších společných televizních rozvodů nebývá).

Výstupní napětí antény umístěné v komplexním elektromagnetickém poli má rovněž komplexní charakter. Jednotlivé složky pole se vektorově sčítají v poměrech, ovlivněných směrovým diagramem antény na straně jedné, a směry, amplitudou i fází dopadajících přímých i odražených signálů na straně druhé. Na černobílém obrazovém signálu se tyto poměry nejzřetelněji projevují jako pozitivní či negativní „duchy“, na zvukovém signálu zkreslením. U barevného obrazu se mohou objevit barevné hrany, okraje i celkové zkreslení barev. Vzhledem k tomu, že výstupní napětí z antény je tvořeno vektorovým součtem všech složek, není v těchto případech možné stanovit kvalitu příj-

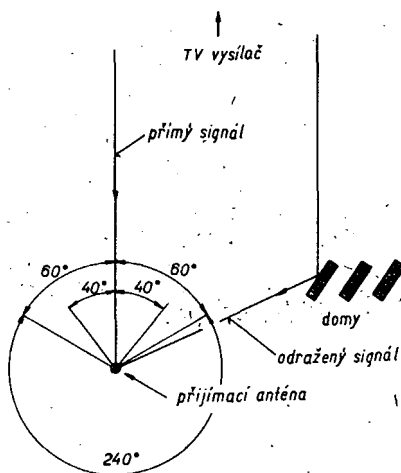


Obr. 66. Směrový diagram antény, měřený na měřicím pracovišti (a) a diagram téže antény v podmínkách praktického příjmu (b)

maného signálu jen pouhým měřením síly pole.

V souvislosti s tím je třeba připomenout, že v takovém místě vůbec není možné změřit skutečný směrový diagram antény. Prakticky to vypadá jako na obr. 66, kde je vyznačen směrový diagram antény, změřený v ideálních podmínkách měřicího pracoviště (a), a diagram téže antény (b), jak se jeví v místě použití, uprostřed zastavěného prostoru, kde na anténu dopadají odražené signály z různých směrů. Je jasné, že vlastní diagram antény se bude tím méně lišit od skutečnosti na použitém místě, čím menší směrovost (zisk) bude anténa mít. Čím bude směrovost antény větší, tím hlubší budou minima mezi směry k jednotlivým odrazům a tím menší bude celková úroveň odrazů, a jím odpovídající vektorový součet napětí (E_1 až E_5 na obr. 66) na celkovém výstupním napětí z antény. Znamená to, že směrovější anténa bude na takovém místě dodávat kvalitnější signál, i když možná nižší úroveň, než anténa o menším zisku. To proto, že na celkovém výstupním napětí antény s menší směrovostí se větší měrou podílejí složky způsobené odrazy.

Jak již bylo řečeno, v nehomogenním poli může anténa s větším ziskem dodávat menší napětí, než anténa se ziskem menším. Kvalita obrazu, měřená potlačením rušivých odrazů, však bývá výrazně lepší. Proto se i při příjmu místních nebo silných vysílačů nemá na anténě šetřit. Praxe



Obr. 67. Prodloužení dráhy odraženého signálu závisí na poloze překážky vzhledem ke spojnici vysílače – přijímače

ukazuje, že právě v husté sídlištní zástavbě s výškovými budovami, bohaté na intenzivní odrazy, je použití antény s větší, až velkou směrovostí účinným krokem. Zbytečně silný signál, který se může blížít „maximálnímu užitečnému signálu“, je možné zeslabit útlumovým členem na přijatelnou hodnotu, popř. je možné se přibližovat až k „citlivosti omezené šumem“ (pro určitý odstup signál/šum), kdy s největší pravděpodobností dosáhne anténou zeslabený odraz tak nízké úrovně, že se již rušivě neprojeví. V podstatě jde o jednoduchou cestu ke zlepšení kvality obrazu.

Zde je vhodné připomenout, že výše uvedená metoda, využití velmi směrové antény k příjmu silného vysílače v nehomogenním poli, není v rozporu s poznatky, uvedenými na str. 24, kde se použití antény s velkým ziskem v nehomogenním poli hodnotilo s ohledem na maximální dosažitelné napětí na výstupu z antény při příjmu poměrně slabých až velmi slabých signálů. V prvním případě jde v první řadě o kvalitu obrazu, nezáleží na případném menším napětí, kterého je spíše nadbytek. V druhém případě jde o maximální napěťový přínos, který anténa odevzdá jen v homogenním poli.

V druhém případě, při dálkovém příjmu TV, není zpravidla také bezpodmínečně nutné optimalizovat umístění antény pomocí televizoru. Je možné použít selektivní měřič signálu, popř. přijímač s indikátorem. Výjimkou jsou případy, kdy s žádaným signálem interferuje signál jiného vysílače, což se jinak než na televizoru nepozná. Použití televizoru je nutné i při optimalizaci polohy a směru antény opatřené anténním zesilovačem, který není dostatečně odolný proti intermodulaci s kmitočty blízkých vysílačů.

Rozdíl v přístupech při řešení obou případů je dán i tím, že k dálkovému příjmu se zpravidla rozhodujeme jen v případech, kdy k tomu máme jisté předpoklady, kdežto příjem místních vysílačů musíme řešit za situace, jaká je. Dosud zmíněné metody doplňujeme v dalším informací o poměrně jednoduchém postupu, který někdy může přispět ke zlepšení příjmu TV.

Potíže se zdvojenými či vícenásobnými obrazy, čili duchy má nemalá část posluchačů TV. Většina duchů je, jak již bylo řečeno, způsobena odraženými vlnami, které dopadají na přijímací anténu později než vlny přímé, tzn. přicházejí oklikou, odrazem od různých překážek. K jejich odstranění se užívá především směrových antén, které by měly příjem z nežádoucích směrů potlačit.

Duch se na stínítku obrazovky ztrácí, pokud je potlačen asi o 26 dB proti hlavnímu signálu. Odstup amplitudy hlavního (žádaného) a odraženého (nežádaného) signálu není konstantní, zvláště v zastíněných oblastech může na krátkých úsecích značně kolísat. Nejmenší rozdíl v umístění antény mezi maximální a minimální velikostí odrazu činí $\lambda/4$. To je 33 až 43 cm na III. pásmu a 9 až 16 cm na IV. a V. pásmu. Běžně se doporučuje použít pro příjem anténu se značnou směrovostí a vyhledat pro ni takové místo, v němž je odstup obou signálů maximální. Navíc je pak možno v jistých případech využít některého z minim ve směrovém diagramu antény, a tam „umístit“ nežádaný odraz (jak je to ostatně podrobně popsáno na str. 22). Kromě těchto všeobecně známých metod k potlačení odražených vln existuje ještě jedno méně známé hledisko pro vyhledání optimálního umístění antény. Jde o zeslabení odrazu fázovým posuvem. Vzdálenost odpovídajících hran hlavní-

ho obrazu a jeho „ducha“ je dána rozdílem délek drah přímého a odraženého signálu. (viz tab. 19). Vyjádříme-li délku každé dráhy ve vlnových délkách příslušného obrazového kmitočtu, obdržíme dvě čísla, lišící se o rozdíl v délce obou drah, vyjádřený ve vlnové délce. Z velikosti tohoto rozdílu lze určit vzdálenost i fázi odraženého signálu. Celé číslo udává dostatečně přesně vzdálenost obou obrazů, jeho zlomek pak určuje jejich vzájemnou fázi. Je-li tedy rozdíl drah hlavního

a odraženého signálu (vyjádřený v λ , popř. $\lambda/2$) celé číslo, popř. je-li sudým násobkem $\lambda/2$, jsou obě napětí ve fázi a jejich kladná i záporná maxima včetně nulových hodnot se navzájem kryjí. Je-li rozdíl drah lichým násobkem $\lambda/2$, shodují se nulové hodnoty obou signálů, ale kladná maxima se kryjí se zápornými, takže odražený signál je se signálem přímým v protifázi. Je-li pak rozdíl drah obou signálů, zlomkem rozdílu mezi lichým a sudým násobkem $\lambda/2$, dochází k fázovému posuvu mezi

soufází a protifází (tj. mezi 0° až 180° , popř. mezi 180° až 360°). Soufázový odraz lze změnit v protifázový takovou změnou umístění antény, při níž se změní rozdíl mezi drahou přímého a odraženého signálu přesně o $\lambda/2$.

Obr. 68 až 70 ukazují vliv uvedených fázových poměrů na obrazovce. Při shodné fázi (0° nebo 360°) na obr. 68 se posunuté černé a bílé obrazy čar-nebo ploch objevují ve stejné barvě. Naproti tomu při protifázi, obr. 69, došlo u odrazu k záměně černé za bílou. Podle fotografické terminologie hovoříme v prvním případě o pozitivním odrazu a v druhém o odrazu negativním. Při fázovém posuvu kolem 90° (popř. 270°), kterému odpovídá rozdíl drah, jenž je lichým násobkem $\lambda/4$, je odraz na obr. 70 ještě pozitivní, ale jeho kontrast vzhledem k hlavnímu obrazu je slabší než v obou předchozích případech, takže rušivý dojem je nejmenší. Všechny tři snímky znázorňují poměry při odstupu amplitud obou signálů 6 dB. Pokud se odstup zvětší na 14 až 20 dB, jsou soufázové i protifázové odrazy ještě zřetelné, ale odraz posunutý o 90° je již sotva patrný.

Výše uvedené poměry na obr. 68 až 70 se podařilo znázornit následujícím způsobem. Dvě stejné antény připojené k jednomu přijímači byly nasměrovány na tentýž vysílač. Napáječ (souosý kabel) jedné z nich byl o 300 m delší, aby se dosáhlo zřetelného posunutí (asi o 1 cm) obrazu. Odstup úrovní obou signálů byl nastaven na 6 dB. Rozdíl délek obou kabelů byl nastaven na sudý násobek $\lambda/2$, tj. na soufázový odraz při shodné poloze obou antén. Pak byla jedna anténa postupně posunuta o $\lambda/4$ a o $\lambda/2$ směrem k vysílači.

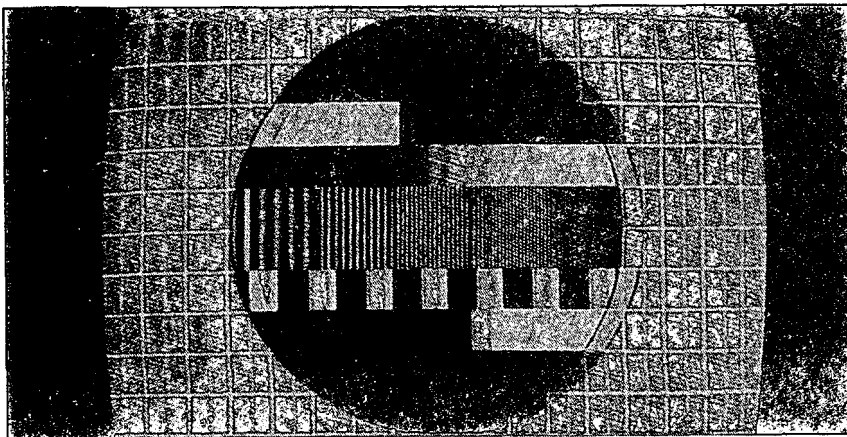
Praktická aplikace

Také v praxi může být někdy užitečné posunout přijímací anténu ve směru k vysílači (nebo od vysílače) pro dosažení výhodnějšího fázového posunu mezi hlavním a odraženým signálem. Pokud odražený signál dopadá na přijímací anténu ze směru zhruba kolmého na směr k vysílači (obr. 67), odpovídá posun antény ve směru k vysílači (nebo od vysílače) přímo rozdílu drah mezi oběma signály. (Při tom pochopitelně předpokládáme, že vzdálenost přijímací antény – místo odrazu je nepatrná proti vzdálenosti k vysílači).

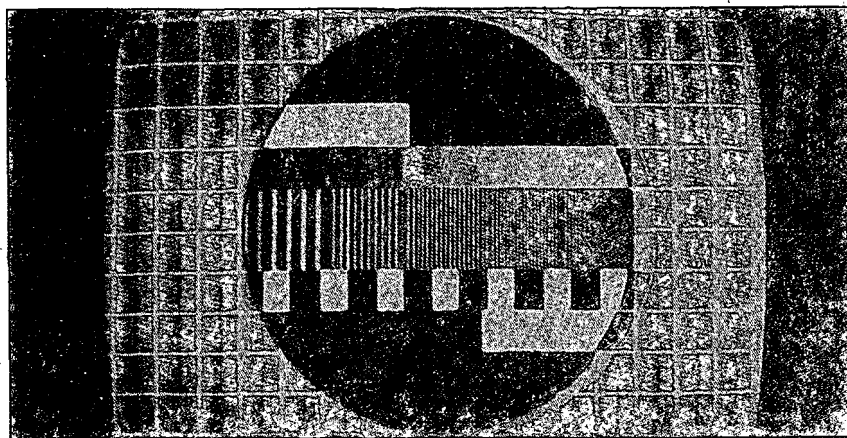
Přichází-li odražený signál zezadu, tj. z opačného směru než je směr k vysílači, je při stejném posunu antény rozdíl drah mezi oběma signály dvojnásobný. Tento rozdíl je ale zhruba poloviční, činí-li úhlový rozdíl azimutů mezi oběma signály 60° .

Při odrazech přicházejících v rozsahu úhlu 240° (viz obr. 67) činí tedy potřebný posun antény od soufázového nebo protifázového odrazu k posunu o 90° asi $\lambda/8$ až $\lambda/2$. Tj. 16 až 86 cm na III. pásmu a 5 až 32 cm na IV. a V. pásmu.

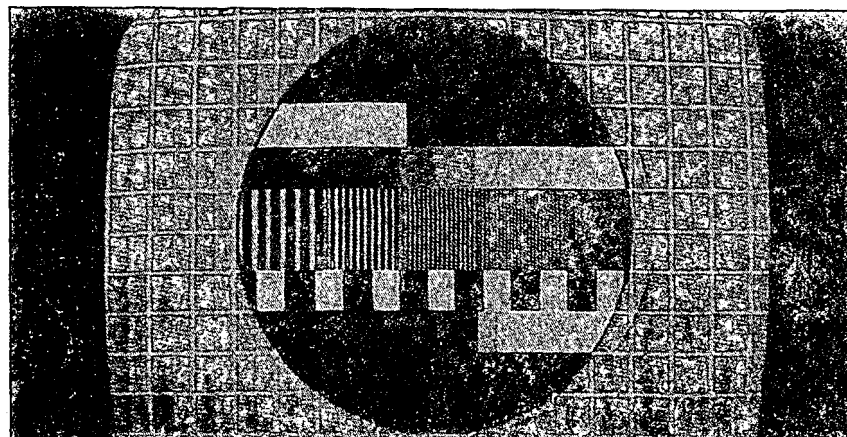
V rozsahu azimutu $\pm 60^\circ$ od směru k vysílači se potřebná posunutí antény velmi rychle zvětšují, až jsou nekonečně velká, popř. nerealizovatelná. A pro úplnost ještě dodejme, že v případě, odráží-li se nežádoucí signál v opačném směru za vysílací anténou, zůstává fázový rozdíl mezi oběma signály při každém posunu přijímací antény konstantní. V praktických případech se obvykle stává, že odrazy ze směrů do $\pm 40^\circ$ dopadají na přijím.



Obr. 68. Soufázový odraz (0° popř. 360°)



Obr. 69. Odraz v protifázi (180°)



Obr. 70. Odraz s fázovým posuvem 90°

ci anténu se značnou úrovní a vytvářejí na stínítku obrazovky celou řadu duchů, které jsou způsobeny vícenásobnými odrazy. Směs odražených vln bývá tak „zmatená“, že lze těžko najít nějaký cílevědomý postup ke zlepšení situace. Taková situace je zpravidla těžko řešitelná. Většinou nezbyvá nic jiného, než se pokusit vyhledat pro anténu jiné místo, a použít anténu s co největší směrovostí.

V úvodu bylo vysvětleno, že se odstup amplitudy žádaného a rušivého signálu může podstatně zvětšit posunem antény. Pokud se tento efekt zároveň v příznivém smyslu setká s výhodným posuvem fáze odrazu, může být úspěch malého posunu antény překvapivě dobrý. Na druhé straně je však i možné, že oba vlivy budou působit proti sobě a situace se nijak nezlepší.

Vlastní laborování nebývá jednoduché, protože je třeba současně kontrolovat obraz na obrazovce. Anténu lze též těžko plynule posunovat, pokud anténní stožár prochází řadou direktorů. Proto je výhodnější upevnit anténu na výložném rameni a podpůrném ráhnu, po kterém je posunutí možné.

Likvidace nežádáných odrazů, případně jiných rušivých vlivů je většinou zdlouhavá práce, která nevede vždycky k žádaným výsledkům. Nicméně stojí zato se jí věnovat a vyzkoušet alespoň ty nejjednodušší postupy a metody, zvláště když jde o „barvu“, za kterou jsme dali patnáct tisíc Kčs.

• • •

Pro lepší orientaci při identifikaci možných zdrojů odrazů připojujeme tabulku, která udává pro nejběžnější typy obrazovek rozdíly v drahách přímého a odraženého signálu pro čtyři vzdálenosti (30, 10, 3 a 1 mm) obraz – duch na obrazovce.

Vzdálenost odrazu	Úhlopříčka obrazovky/šířka obrazu [cm]			
	31/26	47/40	61/49	67/54
30 mm	1815 m	1180 m	964 m	875 m
10 mm	606 m	394 m	321 m	292 m
3 mm	181 m	118 m	96 m	87 m
1 mm	60 m	39 m	32 m	29 m
	Rozdíl v drahách přímého a odraženého signálu			

Dopadá-li odražený signál na přijímací anténu ze směru přibližně kolmého na směr k vysílači (tj. ze strany), je rozdíl v drahách obou signálů téměř shodný se vzdáleností k překážce, která je příčinou odrazu.

Při výpočtu vzdáleností, uvedených v tab. 19 se vychází ze známých parametrů obrazového signálu (625 řádků, 25 obrazů/s), takže na přenos informací jednoho řádku zbývá 64 μ s a po odečtení zpětného běhu se vlastní obrazová informace přeneše za 52, 48 μ s.

PŘÍKLADY KONSTRUKCÍ ANTÉNNÍCH SOUSTAV

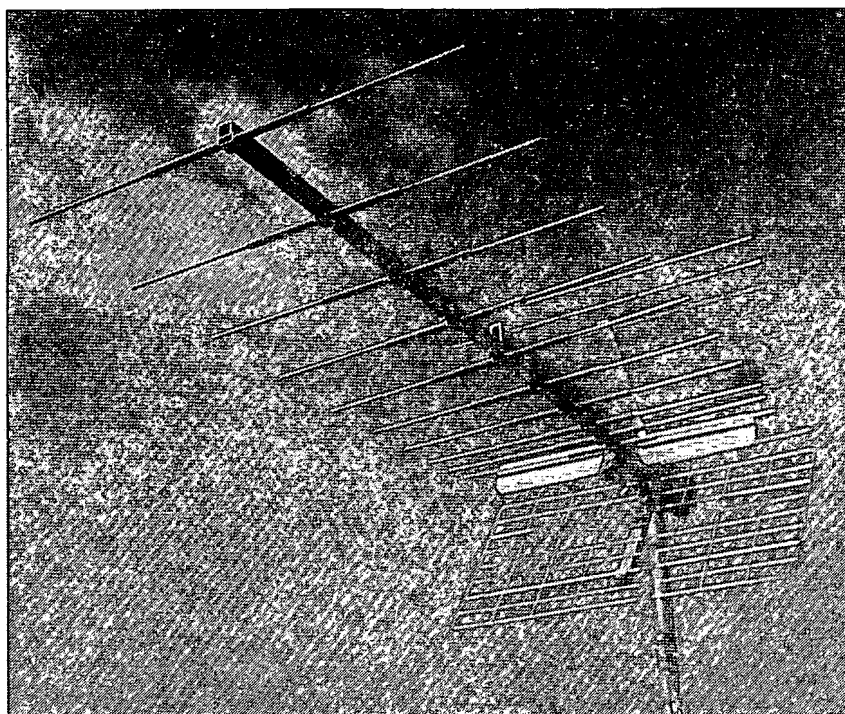
Fotografie, jimiž chtěl autor doplnit některé kapitoly a oživit text, se na redakčním stole objevily pozdě. Proto jimi celé číslo uzavíráme. Věříme, že nebudou přehlédnuty.

Velká fotografie na protější straně představuje experimentální, rozebíratelnou, lze říci „mobilní“ anténní soustavu, sestavenou z pěti základních antén, napájených laděným vedením. Princip laděného vedení byl vysvětlen na str. 17. Konstrukce antény je pozoruhodná tím, že laděné vedení je současně nosnou konstrukcí celé anténní soustavy. Vlastní na-

páječ – souosý kabel je protažen stožárem a jednou z trubek souměrného nosného vedení. V místě upevnění prostřední antény je střední vodič souosého napáječe vyveden a galvanicky spojen s druhou trubicí laděného nosného vedení.

Pro dobrou mechanickou stabilitu nosného vedení jsou obě trubky nahoře a dole spojeny čtvrtvlnnými úseky. Tyto čtvrtvlnné zkratované úseky jsou současně symetrizačními členy.

Vzdálenost S_E (viz str. 14) mezi anténami je 1 λ . Této vzdálenosti odpovídá zvolený typ antény. Impedance soustavy, měře-



Anténa se skupinovými direktory a úhlovým reflektorem, určená pro příjem na K21 až K26. Celovlnný dipól budí dvě řady direktorů z antény typu 12Y 1,8–0,92. Direktory ($t = 6$ mm) jsou vetknuty do laminátových trubek, které je upevňují k nosnému ráhnu a navzájem galvanicky oddělují. Anténa se upevňuje na stožár za úhlovým reflektorem, $G_a = 13,5$ dB

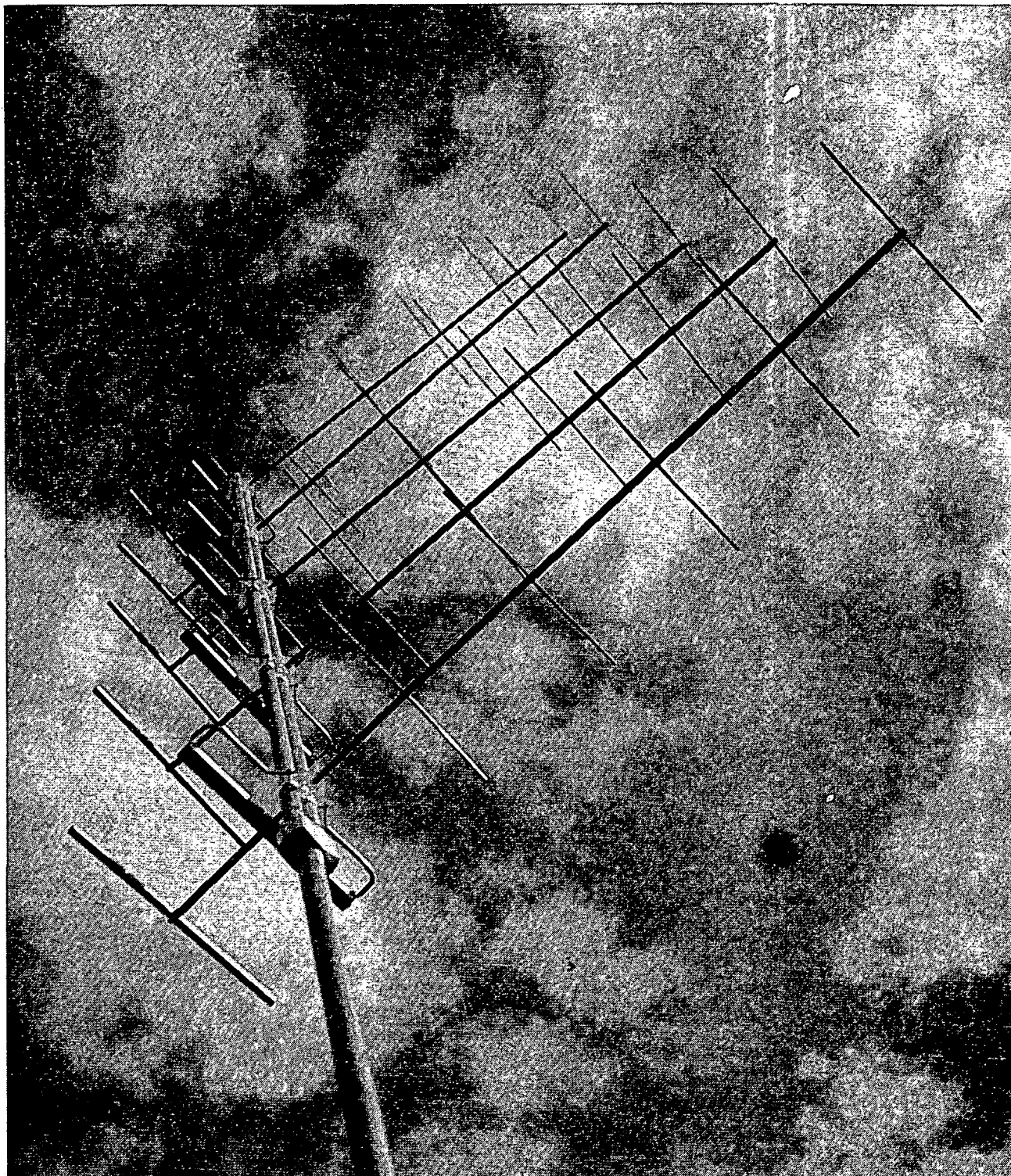
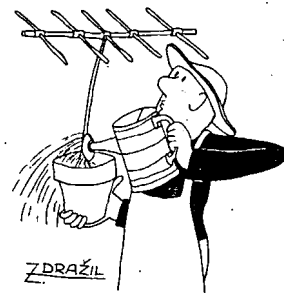


Požadavky příslušných norem na ochranu antén před úderem blesku a účinky atmosférické elektriny nelze podceňovat. I když k přímému úderu blesku do antény dochází zřídka, bývá konečný „efekt“ zpravidla impozantní, především tehdy, není-li anténa vůbec uzemněna. Požáry domků vznikly po úderech blesků do antén. Žádný z domků nebyl opatřen bleskosvodem, takže se jím stala v obou případech vnější anténa, která nebyla např. na levém obrázku vůbec uzemněna. Pod střechou (!) novostavby na pravém obrázku byl sice stožár spojen s vodovodním rozvodem, ovšem velmi nedokonale, takže výboj se rozvětvil a zničil celý interiér.

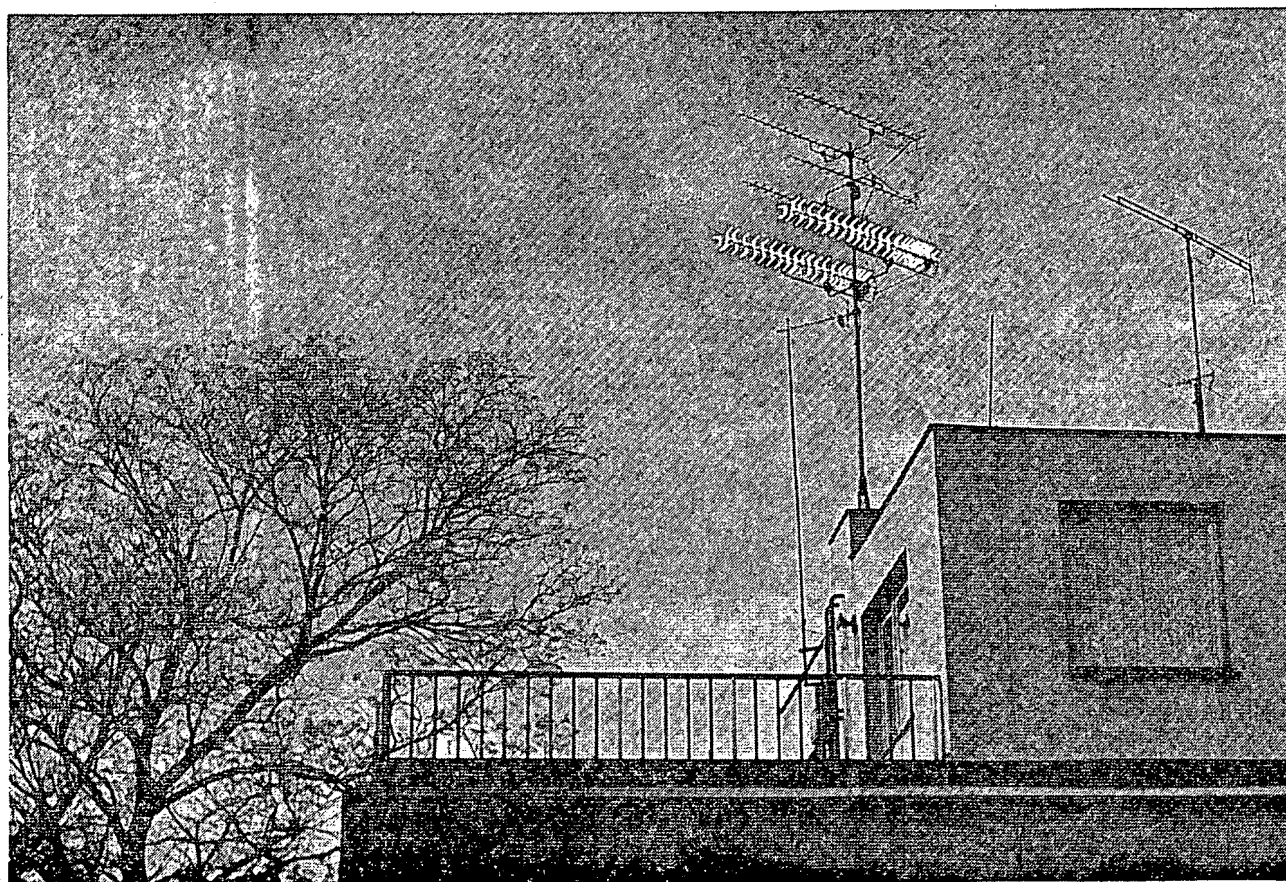
ná na výstupu, tj. u střední antény, je 75Ω . Jednotlivé antény musí mít tedy impedanci 375Ω ($5 \times 75 \Omega$). Dosahuje se toho vhodným poměrem průměrů vodičů – trubek, tvořících skládaný dipól. Jde totiž o konstrukci staršího data, tj. z doby, v níž se ještě běžně nepoužívalo k úpravě impedance Yagiho antén uspořádání skládaný dipól-širokopásmový direktor. Mimoto dalším z požadavků je relativně značný transformační poměr.

Znáznorněný konstrukční princip je

obecně použitelný pro všechny antény, kterým vyhovuje řazení do soustav nad sebou ve vzdálenosti 1λ . Jsou to tedy nepříliš dlouhé Yagiho antény, takže celá soustava může být poměrně dobře mechanicky vyvážená. V zásadě však lze stejné konstrukce využít pro $S_E = 2\lambda$. Jednotlivé antény by však v tomto případě měly být delší, což by již patrně nebylo mechanicky únosné. Pro úplnost ještě dodejme, že jde o anténní soustavu pro poměrně úzké kmitočtové pásmo.



Anténní soustava pro UKV s laděným napájením základních antén. Napájecí vedení je současně nosnou konstrukcí celé soustavy. Vzdálenost S_E antén je 1λ



13. ROČNÍK KONKURSU AR

V posledním říjnovém týdnu loňského roku byl vyhodnocen 13. ročník konkursu AR. Jak jsme již naše čtenáře informovali v podmínkách konkursu, uveřejněných v AR A2/81, byly přihlášené konstrukce poprvé hodnoceny podle poněkud odlišných kritérií, než tomu bylo v předešlých letech.

Do závěrečného kola bylo vybráno 30

nejzdařilejších konstrukcí z celkového počtu 46 konstrukcí přihlášených. Dne 20. října 1981 zasedla k závěrečnému hodnocení těchto příspěvků komise v tomto složení: doc. ing. Jiří Vackář, CSc. – předseda, ing. Jan Klabal – zástupce předsedy, dr. Antonín Glanc, ing. Jiří Zíma, Luboš Kalousek a Adrien Hofhans – členové komise.

Výsledky konkursu

I. ceny

Páječka s automatickou regulací teploty (J. Šlegel)	2000 Kčs
Osciloskop (ing. J. Doležilek, ing. M. Munzar)	2000 Kčs + vypsaná prémie 500 Kčs

II. ceny

Signální generátor (ing. J. Doležilek, ing. M. Munzar)	1500 Kčs + vypsaná prémie 500 Kčs
Optický synchronizátor elektronického blesku (M. Kolařík)	1500 Kčs
Čítač do 1000 MHz (ing. J. Doležilek, ing. M. Munzar)	1500 Kčs
Multigenerátor MG-81 (J. Drozd)	1500 Kčs
Anténaskop (J. Svrčina)	1500 Kčs

III. ceny

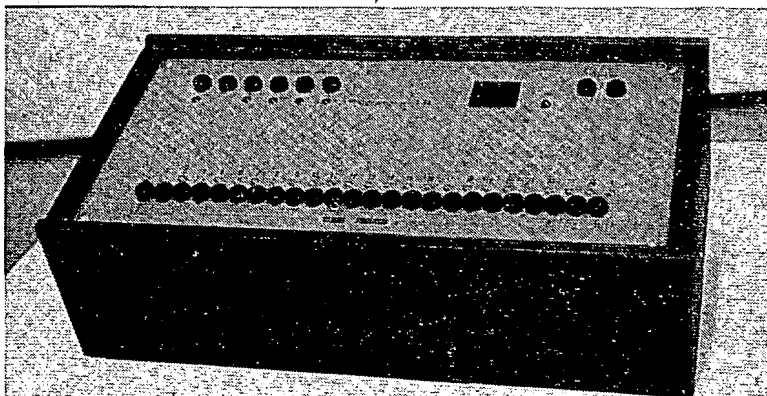
Generátor síťového kmitočtu (dr. L. Kellner)	1000 Kčs
Hlasitý telefon (J. Kroczeck)	1000 Kčs
Měřič tranzistorů (M. Skoták)	1000 Kčs
Stupnice s LED (ing. J. Pokorný)	1000 Kčs
Nouzové osvětlení kola (J. Kusala)	1000 Kčs

Kromě toho se komise rozhodla odměnit navíc tyto přihlášené konstrukce:

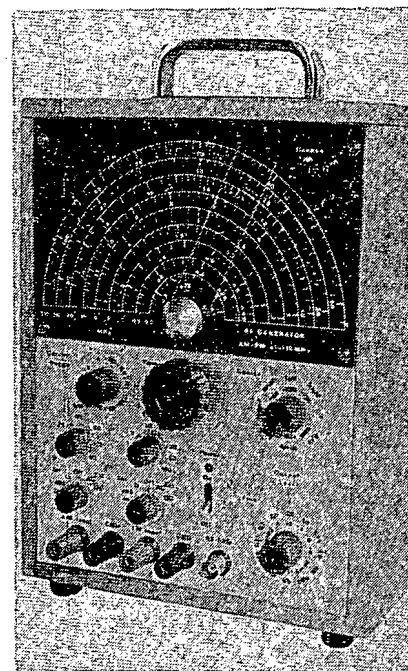
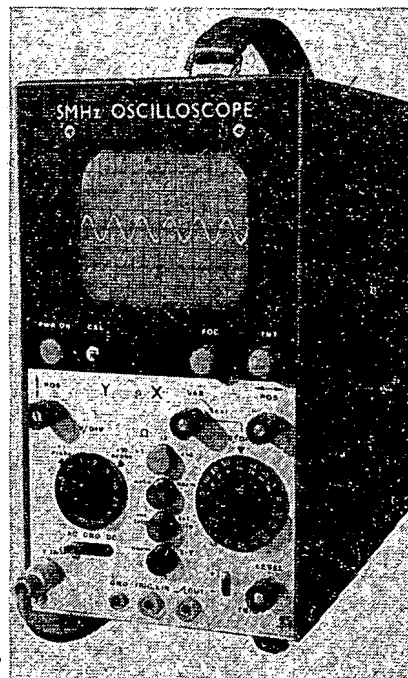
Digitaltest (I. Zajac)	500 Kčs
Převodník A/D (P. Žuak)	500 Kčs
Inteligentní sonda (ing. P. Lachovič)	500 Kčs
Programovatelný čítač (ing. M. Hrdlička)	500 Kčs
Měřič pH (O. Burger)	500 Kčs

Jako tomu bylo v loňském roce, i letos budou všechny odměny i ceny vyplaceny autorům konstrukcí v hotovosti a obdrží je poštou.

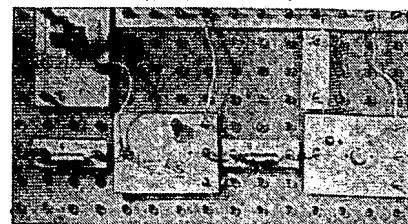
Co říci na závěr? I když přihlášených konstrukcí bylo letos poněkud více, než loňského roku, přesto jsme postrádali větší výběr ve vtipných jednoduchých konstrukcích, které by byly pro zájemce účelné a především snadno realizovatelné. Zbývá nám proto jen doufat, že v příštím ročníku konkursu, jehož podmínky jsou na další straně, uvidíme více jednoduchých a vtipných konstrukcí.



Programatik TTL ing. T. Pavlíse a J. Losenického



Osciloskop a vř generátor AM-FM, 0,1 až 110 MHz autorů ing. J. Doležilka a ing. M. Munzara. Konstrukce této autorské dvojice patřily v loňském ročníku konkursu k nejpropracovanějším



Žákovská elektronická stavebnice Otto Jandy ze 13. ročníku konkursu

14. ROČNÍK KONKURSU AR

Jako každoročně i letos vypisujeme další ročník konkursu na nejlepší a nejzajímavější amatérské konstrukce. Spolu-práce, kterou jsme v souvislosti s vypisováním konkursu navázali v loňském roce s fakultní pobočkou Československé vědeckotechnické společnosti, se velmi osvědčila a proto pokračuje i v letošním roce. Osvědčila se i v loňském roce zavedená hodnotící kritéria a proto budou stejná kritéria použita i v letošním ročníku konkursu: všechny přihlášené konstrukce budou posuzovány především z hlediska jejich původnosti, nápaditosti, technického provedení, vtipnosti a především účelnosti a použitelnosti. Zdůrazňujeme, že složitost zařízení nebude v žádném případě rozhodujícím kritériem, které by konstrukci automaticky předurčilo k zařazení do nejvyšší odměňované skupiny konstrukcí. Jinými slovy: jednoduchá, vtipná a užitečná konstrukce může být odměněna stejně vysokou částkou, jako vtipná, složitá a užitečná konstrukce.

Konstrukce přihlášené do letošního konkursu budou tedy nejprve hodnoceny podle vyjmenovaných kritérií. Komise pak tyto konstrukce, které budou vyhovovat, rozdělí do tří skupin na výborné, velmi dobré a dobré. Zjednodušeně řečeno, bude to období způsobu, kterým se například udělují medaile za nejlepší výrobky. Vybrané konstrukce budou tedy zařazeny do 1., 2. nebo 3. skupiny a v každé této skupině odměněny stanovenou paušální částkou.

Znovu opakujeme, že do konkursu budou přijímány libovolné konstrukce bez ohledu na to, zda jsou jednoduché či složitější, a hodnotícími ukazateli budou vlastnosti, které jsme v úvodu vyjmenovali. V této souvislosti prosíme naše čtenáře, aby však do konkursu nezasílali takové konstrukce, které se již na první pohled zcela vymykají z možností amatérské reprodukovatelnosti, anebo takové, jejichž pořizovací náklady dosahují desetitisícových částek.

Podmínky konkursu

1. Konkurs je neanonymní a může se ho zúčastnit každý občan ČSSR. Dokumentace musí být označena jménem a adresou a případně i dalšími údaji, které by umožnily vejít v případě potřeby s přihlášeným účastníkem co nejrychleji do styku.
2. V přihlášených konstrukcích musí být použity výhradně součástky dostupné v naší obchodní síti.
3. Přihláška do konkursu musí být zaslána na adresu redakce AR nejpozději do 15. září 1982 a musí obsahovat:
 - a) technické údaje, podrobný popis zapojení a činnosti, popis mechanické konstrukce, uvádění do chodu, nastavení, výčet možných chyb a jejich odstranění, možnosti použití, seznam použité nebo doporučené literatury, případně možnosti dalšího rozšíření nebo zjednodušení atd.,
 - b) schéma zapojení,
 - c) nákresy desek (desky) s plošnými spoji (nejlépe v měřítku 2 : 1),
 - d) pokud možno fotografie vnějšího i vnitřního provedení (minimální rozměr 9 × 12 cm); nebude-li mít autor možnost pořídit fotografie, je třeba přiložit alespoň náčrt ovládacího panelu a celkové rozměry přístroje.
4. Textová část musí být napsána strojem

(30 řádků po 60 úderech po jedné straně listu A4), výkresy mohou být na obyčejném papíře a kresleny tužkou, kuličkovou tužkou nebo jinak, ale tak, aby byly přehledné (všechny výkresy jsou v redakci překreslovány).

Výkresy i fotografie musí být očíslovány (obr. 1 atd.) a v textu na ně musí být odkazy. Na konci textové části musí být uveden seznam použitých součástek a všechny texty pod jednotlivé obrázky.

5. Přihlášeny mohou být pouze takové konstrukce, které dosud nebyly v ČSSR publikovány – redakce si přitom vyhrazuje právo na jejich zveřejnění. Pokud bude konstrukce zveřejněna, bude honorována jako příspěvek bez ohledu na to, zda byla či nebyla v konkursu odměněna.
6. Neúplné či opožděně zaslané příspěvky nemohou být zařazeny do hodnocení. Příspěvky bude hodnotit komise ustanovená podle dohody pořadatelů. V případě potřeby si komise vyžádá posudky specializovaných výzkumných pracovišť. Členové komise jsou z účasti na konkursu vyloučeni.
7. Dokumentace konstrukcí, které budou ani odměněny, ani uveřejněny, budou na požádání vráceny.
8. Výsledek konkursu bude odměněným sdělen do 15. prosince 1982 a otištěn v AR A1/83.

Odměny

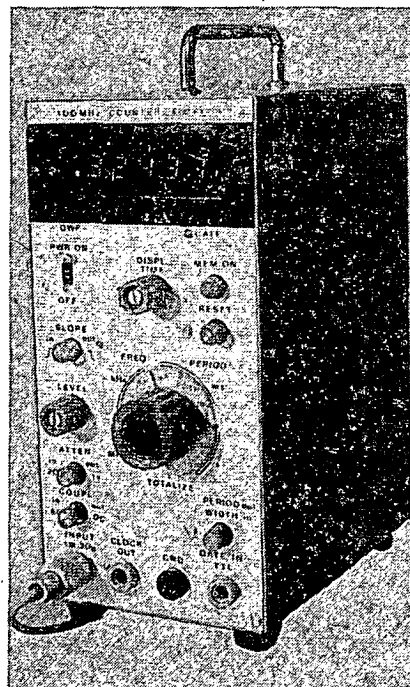
Konstrukce, které budou komisí zařazeny do jmenovaných tří skupin, budou odměněny:

- | | |
|------------|------------|
| 1. skupina | 2000,- Kčs |
| 2. skupina | 1500,- Kčs |
| 3. skupina | 1000,- Kčs |

Redakce vypisuje navíc tematické úkoly (tedy vlastní požadavky na určité konstrukce), které, pokud budou úspěšně splněny, budou kromě udělených cen odměněny ještě zvláštními jednorázovými prémie v rozmezí 300,- až 1000,- Kčs.

Stejnou prémie může komise udělit i takové konstrukci, která nebude předmětem tematických úkolů, bude však jakýmkoli způsobem mimořádně zajímavá nebo společensky prospěšná.

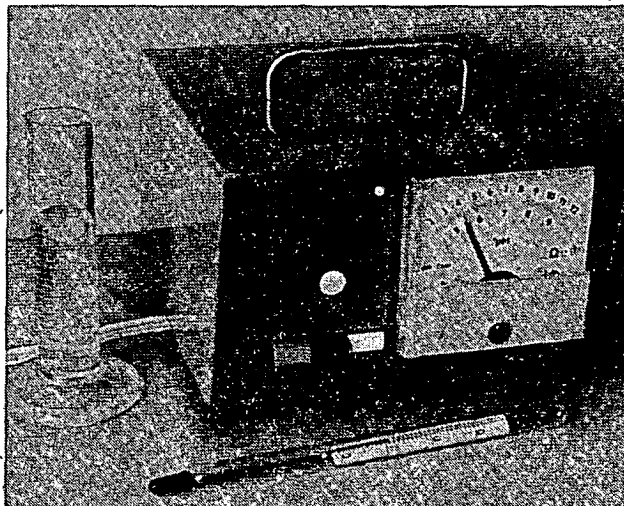
Z toho vyplývá, že nejlepší konstrukce anebo konstrukce, splňující požadavky tematických úkolů, mohou získat celkovou odměnu až 3000,- Kčs a tuto odměnu může pochopitelně získat nejen jedna, ale i několik konstrukcí.



Kmitočtový čítač do 100 MHz ing. J. Doležalka a ing. M. Munzara

Tematické úkoly vypsané AR pro konkurs 81

1. Zařízení, která budou jakýmkoli příspěvkem k řešení současné energetické krize, především zařízení k úspoře elektrické energie nebo taková zařízení, která při zachování požadovaných parametrů mají mnohem menší příkon energie, než zařízení dosud používaná.
2. Jednoduché konstrukce, v nichž se používají číslicové integrované obvody libovolného stupně integrace.
3. Aktivní reproduktorové soustavy kombinované s napěťovým řídicím předzesilovačem. Předzesilovač by měl mít pokud možno malé rozměry. Výstupní výkon každého kanálu alespoň 10 W.
4. Špičkový přijímač VKV moderní koncepce. V tomto případě platí výjimka: v přijímači mohou být použity i součástky vyráběné v zemích RVHP, tedy běžné nedostupné v naší obchodní síti.



Měřič pH Oldřicha Burgra